

칼라 역 해프토닝을 위한 새로운 평활화 마스크의 설계

김종민[†] · 김민환^{**}

요 약

칼라 역 해프토닝(Color inverse halftoning)은 해프토닝된 칼라 영상을 시각적으로 보다 자연스러운 연속 계조 칼라영상으로 변환해 주는 방법이다. 본 논문에서는, 칼라 채널 영상에서 나타나는 해프톤 셀 패턴을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 평활화 마스크를 제안하고, 이를 칼라 역 해프토닝에 활용하였다. 제안한 평활화 마스크는 기존의 평활화 마스크가 잘 제거하지 못했던 해프톤 셀 패턴을 시각적으로 보다 자연스럽게 평활화할 수 있으며, 마스크의 특성이 다양한 해프톤 영상에 적합하게 자동 조정될 수 있도록 설계하였다. 실험을 통해, 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법에 의한 결과 영상을 다양한 측면에서 비교 분석함으로써 제안한 평활화 마스크의 유용성을 확인하였다. 제안한 방법은 전자 출판, 칼라 팩스, 디지털 도서관 구축 등과 같은 멀티미디어 분야에서 활용될 수 있다.

Design of New Smoothing Mask for Color Inverse Halftoning

Jong-Min Kim[†] and Min-Hwan Kim^{**}

ABSTRACT

Color inverse halftoning is the transformation of a color-half-tone image to a continuous-tone color image that is more natural in human vision. In this paper, we propose a new smoothing mask that can remove halftone patterns in channel images effectively and we apply it to color inverse halftoning. The proposed smoothing mask can make channel images more smooth and natural in human vision than traditional ones. Its characteristic can be adapted automatically according to the various color halftone images. We analyze the result images in various aspects through experiments. Experimental results show that the mask is useful for color inverse halftoning. It can be applied to field of multimedia application, such as desktop publishing, color facsimile and digital library construction.

1. 서 론

디지털 해프토닝(digital halftoning)은 연속계조 영상(continuous tone image)을 이진 화소(binary pixel element)만 표현 가능한 출력장치에 표현하기 위해 이진 영상으로 변환하는 것이다[1]. 이진화되어 표현된 영상은 인간의 시각적인 공간 융합(spatial integration) 특성으로 인해 연속성을 가지는 영상으

로 보여지게 된다. 즉 매우 작은 영역을 충분히 먼 거리에서 보게 되면, 사람의 눈은 작은 영역내의 세세한 것을 평균화하고 영역의 전반적인 밝기만 보게 된다.

해프토닝에 의해 인쇄된 영역을 스캐닝해 보면, 인쇄시 발생한 이진화된 해프톤 셀이 그대로 존재하기 때문에 모니터 상에서 디스플레이될 때 화질의 저하가 발생한다. 또한 스캐닝된 해프톤 영상에 대해 기존의 영상처리 기법들을 적용하여 재 가공할 경우, 연속계조영상에 적용했을 경우보다 비효율적이다.

[†] 고신대학교 전산수학과 전임강사

^{**} 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

따라서 해프톤 영상을 활용하기 위해서는 연속계조 영상으로 변환하는 것이 필수적인데, 이러한 과정을 역 해프토닝(inverse halftoning)이라 한다.

역 해프토닝은 디지털화된 인쇄영상을 응용하여 다루는 분야에서 활용가능하다. 특히 칼라 역 해프토닝의 경우는 칼라 인쇄기술의 발달과 관련 장비의 보편화로 인해 칼라 인쇄물을 다루는 분야가 증가하는 추세이므로 전자 출판, 칼라 팩스, 전자도서관의 구축 등과 같은 멀티미디어 분야에서 그 활용도가 더욱 높아질 전망이다.

기존의 역 해프토닝 방법은 흑백 해프톤 영상과 칼라 해프톤 영상을 다루는 방법으로 나눌 수 있다. 흑백 해프톤 영상에 대한 역 해프토닝의 기본 원리는 저주파 필터링(low pass filtering)을 사용하는 것이다. 저주파 필터링 방법에서는 먼저 정확한 절단(cutoff) 주파수의 예측 및 설정 문제가 발생하며, 고주파 성분의 제거로 인해 경계 정보가 상실되는 문제가 발생한다. 이에 따라, 대부분의 기존 연구에서는 고주파 성분의 효율적인 복구 문제를 다루고 있다. 즉 단순한 저주파 필터링을 하는 것이 아니라, 분산 정보[2], 2차 미분 정보[3], 고주파 성분 정보[4], 기타 주변정보[5,6]를 활용하여 비선형적(nonlinear), 적응적(adaptive), 반복적(iterative) 절차를 통해 에지(edge) 정보를 보다 효율적으로 복구하는 방법들을 사용한다.

한편, 칼라 해프톤 영상에서는 칼라 채널들이 각각 서로 다른 해프톤 셀 크기와 스크린 각도로 인쇄되기 때문에 이러한 특성이 역 해프토닝 과정에서 충분히 고려되어야 한다. 왜냐하면 이러한 특성이 고려되지 않으면 채널간의 간섭현상으로 인해 발생 한 요소들을 효과적으로 제거하지 못해 각 칼라 채널이 제대로 복구되지 않기 때문이다. 따라서, 이와같은 특성이 충분히 고려되지 않은 기존 흑백 해프톤 영상에 대한 역 해프토닝 방법은 칼라 해프톤 영상에 적용하기 곤란하다.

칼라 역 해프토닝 분야에 대한 연구는 초기 단계인데, [7]에서는 푸리에 변환을 통해 입력영상의 주파수 특성을 분석하여 절단 주파수 문제 및 고주파 성분 유지 문제를 함께 다루고 있다. 이 방법에서는, 해프토닝에 의한 패턴화 현상이 푸리에 스펙트럼상에서 피크(peak)를 형성하며, 이 피크는 Sinc 함수를 이용하여 효과적으로 제거할 수 있다는 원리를 이용

하였다. 이 방법은 각 칼라 채널 영상에서, 해당 인쇄 칼라에 의해 인쇄된 셀 패턴이 형성하는 피크(이하 주 피크라 함)는 효과적으로 제거해 주지만 다른 인쇄 칼라에 의한 피크(이하 주변 피크라 함)는 효과적으로 제거하지 못하는 단점이 있다. 이렇게 제거되지 않은 피크는 역 해프토닝될 때 패턴으로 남게 되어 시각적인 질 저하를 야기시키며, 역 해프토닝 영상을 활용하기 위해 기존의 영상처리기법으로 재 가공할 경우에도 장애 요소가 된다. 이러한 문제점은 평활화 마스크 설계과정에서 주변 피크에 대한 고려를 충분히 하지 않았기 때문에 발생한 것이다.

본 논문에서는 주 피크 뿐만 아니라 주변 피크들도 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 평활화 마스크를 제안하였다. 제안한 마스크는, 기존의 방법에서 잘 제거되지 않았던 주변 피크를 효과적으로 제거하며 경계 성분에 해당하는 고주파 정보를 불필요하게 제거하지 않도록 설계되었기 때문에 해프톤 패턴을 효과적으로 제거하면서도 경계는 잘 보존할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 칼라 해프톤 영상의 특성에 대해 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 새로운 평활화 마스크의 설계에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 평활화 마스크의 성능을 실험을 통해 분석하고, 5장에서는 결론 및 향후 연구방향에 대해 기술한다.

2. 칼라 해프톤 영상의 특성 분석

스캐닝된 흑백 해프톤 영상의 푸리에 스펙트럼을 보면, 그림 1에서와 같이 일정한 패턴으로 피크들이 존재한다. 이 피크들은 해프토닝 과정에서 특정한 셀 크기와 스크린 각도에 의해 인쇄된 셀 패턴에 의해 형성된 것인데, 그림 1은 45° 각도로 해프토닝된 경우이다. 이러한 피크들은 연속계조영상의 푸리에 스펙트럼에서는 나타나지 않는 해프톤 영상의 고유한 특성이다.

칼라 해프토닝에서는 CMYK 칼라 모델을 이용하여 연속계조의 영상을 cyan(C), magenta(M), yellow(Y), black(K)의 네 채널로 분리하여 각각을 해프톤 한 후, 이를 중첩하여 인쇄한다. 이때, 두 개 이상의 해프톤 셀이 겹쳐 인쇄될 때 발생하는 모아레 현상을 가능하면 줄이기 위해 서로 다른 스크린 각도로 인쇄한다. 일반적으로 C, M, Y, K에 대해 각각 75°, 15°,

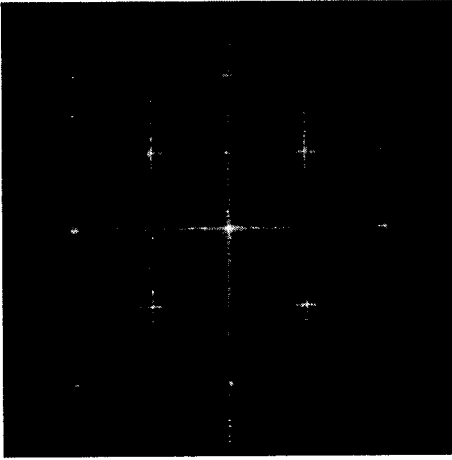
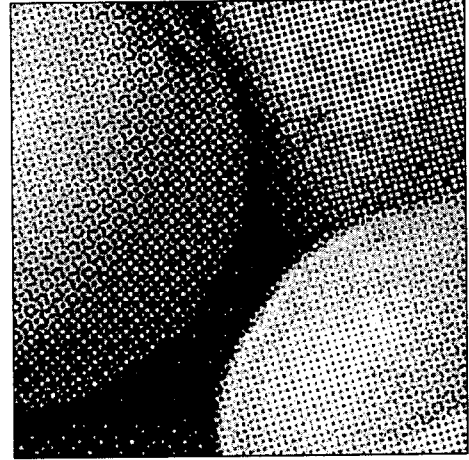


그림 1. 흑백 해프톤 영상의 푸리에 스펙트럼

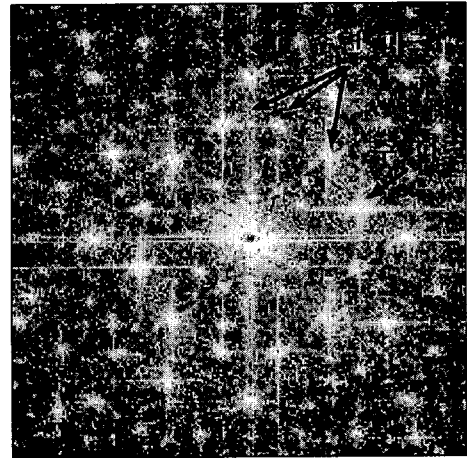


(a) C 채널 영상

0°, 45°로 인쇄하며 C와 M은 서로 바뀔 수도 있다[7].

이와 같은 방법으로 인쇄된 칼라 해프톤 영상은 흑백 해프톤 영상의 스펙트럼과는 다른 특성을 갖는다. 그림 2 (a)는 스캐닝된 RGB 칼라 해프톤 영상으로부터 채널을 분리하여 구한 C 채널 영상이며, 그림 2 (b)는 이것의 푸리에 스펙트럼을 구한 것이다. 이때, C, M, Y 채널 영상은 (식 1)을 이용하여 RGB 칼라 영상으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} C &\approx 1.0 - R \\ M &\approx 1.0 - G \\ Y &\approx 1.0 - B \end{aligned} \quad (\text{식 1})$$



(b) 푸리에 스펙트럼

C 채널 영상의 푸리에 스펙트럼에서는, 그림 2에 서와 같이 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의한 피크가 원점을 제외한 영역에서 가장 높게 나타나며 각 분면마다 원점 대칭인 위치에 있는데, 이 피크가 주 피크이다. 주 피크는 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀의 패턴에 의해 발생한 것으로서, 주 피크의 위치 정보와 영상의 크기 정보를 이용하여 인쇄시 사용된 해프톤 셀 크기와 스크린 각도를 계산할 수 있다[7]. 그림 2의 경우는 cyan 해프톤 셀이 15° 각도로 인쇄된 경우이다.

그림 2. 칼라 해프톤 영상의 푸리에 스펙트럼

한편, 칼라 해프톤 영상의 스펙트럼에서는 흑백 해프톤 영상에서 볼 수 없는 피크들이 나타난다. 이들은 원점과 주 피크의 거리를 반지름으로 하는 원(circle) 근방에서 비교적 높은 값을 갖고 나타나는데, 이것이 주변 피크들이다. 주변 피크들은 다른 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의해 형성된 것으로서 칼라 채널 분리과정에서 각 채널을 완벽하게 분리할 수

없기 때문에 발생한다. 이상적으로 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀은 스캐닝시 red 성분이 0으로, magenta, yellow로 인쇄된 해프톤 셀은 1의 값으로 샘플링(sampling) 되어야 하지만 인쇄된 종이의 반사 특성과 잉크의 특성 등으로 인해 스캐닝시 왜곡이 발생하게 된다. 이와 같은 현상으로 인해, 스캐닝된 RGB 해프톤 영상에서 C 채널 영상을 만들게 되면 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀이 큰 값을 가지고 존재하고 magenta와 yellow로 인쇄된 해프톤 셀들도 왜곡되어 샘플링된 red 성분으로 인해 어느 정도 값을 가지고 존재하게 된다. 이때, magenta와 yellow로 인쇄된 해프톤 셀 역시 정해진 셀 크기와 각도로 인쇄되

있기 때문에 C 채널 영상에서 패턴을 형성하며 존재하고, 이 패턴들이 푸리에 공간에서 주변 피크를 형성하게 된다.

그림 3 (a)는 그림 2 (a)로부터 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀만 추출하여 나타낸 것이며, (b)는 (a)의 푸리에 스펙트럼이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀은 주 피크만을 형성하므로, 주변 피크들은 cyan 칼라 외의 칼라로 인쇄된 해프톤 셀들이 채널 분리 후에도 C 채널에 잔존하여 발생한 것임을 알 수 있다.

한편, 푸리에 스펙트럼에서 주 피크와 주변 피크의 벡터 합 위치에 모아레 피크(moire peaks)가 존재

하며, 이 피크는 주 피크보다 원점에서 가까운 거리에 위치한다. 또한 피크들의 벡터 합의 위치에 복합 피크(multiple peaks)가 나타나는데, 이 피크들은 주 피크보다 원점에서 먼 거리에 존재한다.

3. 칼라 역 해프토닝을 위한 새로운 평활화 마스크의 설계

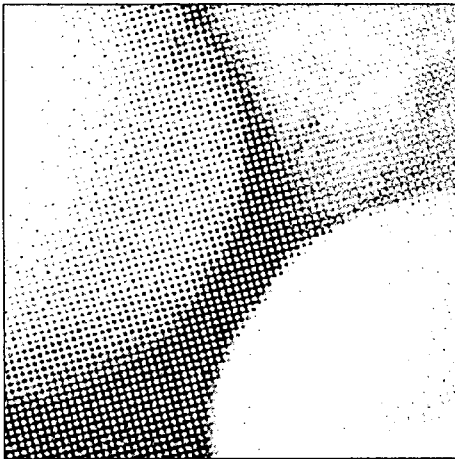
해프토닝 과정에서 발생한 패턴화 현상은 평활화를 이용하여 완화할 수 있다. 이때, 시각적으로 자연스러우면서도 영역 경계가 잘 보존된 역 해프톤 영상을 얻기 위해서는 평활화를 통해 제거하고자 하는 패턴의 구조적인 특성을 고려해야 한다.

푸리에 공간에서의 피크들을 제거하기 위해 가우시안 필터를 이용할 수도 있으나, 이 방법은 주 피크뿐만 아니라 의미있는 고주파 성분들도 함께 제거하기 때문에 영역의 경계를 효과적으로 보존할 수 없는 방법이다.

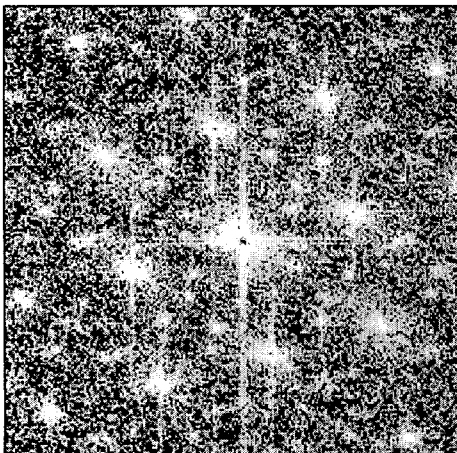
이러한 문제를 해결하기 위해, [7]에서는 Sinc 함수를 이용한 칼라 역 해프토닝 방법을 제안하였다. 이 방법은, 주 피크의 위치에서 영교차가 나타나는 특성을 갖는 Sinc 함수를 푸리에 공간에서 곱함으로써 피크를 제거한다. 이때, 푸리에 공간에서 두 함수의 곱은 영상 공간에서의 컨벌루션(convolution)이므로 푸리에 공간에서 Sinc 함수의 특성을 갖는 평활화 마스크를 채널 별로 만든 후, 각 마스크와 해당 채널 영상을 컨벌루션함으로써 해프톤 패턴을 제거한다. 그러나 [7]에서 사용된 평활화 마스크는 한 채널 영상에서의 주 피크를 잘 제거할 수 있도록 설계하였기 때문에, 주변 피크들은 효과적으로 제거되지 않는 문제가 발생한다. 또한, 평활화 마스크를 만들 때 발생하는 셀 크기 반올림 오차로 인해 Sinc 함수의 영교차가 주 피크 위치에서 정확히 발생하지 않을 수 있다는 문제가 있다.

이와 같은 문제점으로 인해 평활화 후에도 제거되지 않은 피크들은, 역 해프토닝된 영상에서 패턴을 형성하게 되어 시각적인 질적 저하를 야기시키며 역 해프토닝 영상을 다양한 응용분야에 활용하기 위해 가공하는데 있어서도 장애요소가 된다. 따라서, 칼라 역 해프토닝에서 사용되는 평활화 마스크는, 주 피크는 물론 주변 피크들도 효과적으로 제거되 의미있는 고주파 성분은 보존할 수 있도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는, 주 피크를 제거하는데 사용할 수



(a) cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀

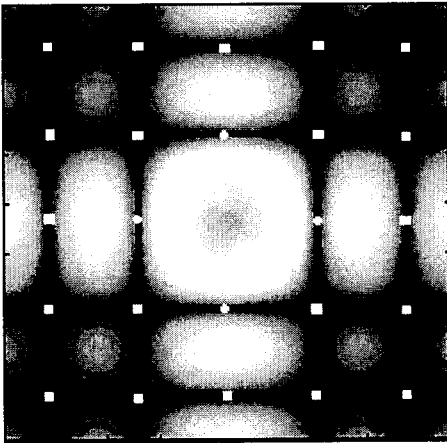


(b) 푸리에 스펙트럼

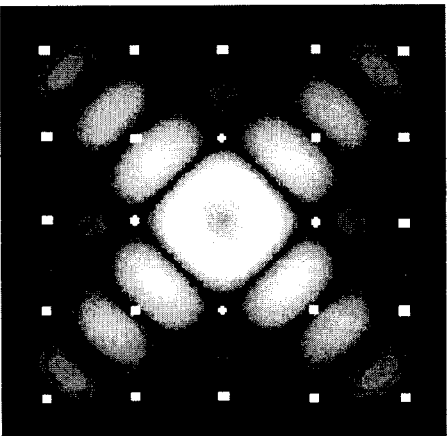
그림 3. 주변 피크의 발생 원인

있는 두 개의 평활화 마스크를 조합함으로써, 주 피크뿐만 아니라 주변 피크도 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 마스크를 만드는 방법을 제안한다. 이때, 두 평활화 마스크의 평활화 가중치를 조정할 수 있는 조정 변수(control variable)를 도입으로써 각 채널 영상의 피크 특성에 따라 마스크가 조정될 수 있도록 설계하였으며, 셀 크기의 반올림 오차도 줄일 수 있도록 평활화 마스크를 제작하였다.

본 논문에서 제안한 평활화 마스크를 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 [7]에서 제안한 방법을 이용하여 각 채널 영상에 대한 평활화 마스크 M 를 구하는데, 그림 4 (a)는 주 피크가 0° 위치에 존재하는 채널



(a) M



(b) M_{45}

그림 4. 평활화 마스크 M 과 M_{45} 의 푸리에 스펙트럼 특성

영상을 평활화하기 위한 M 의 푸리에 스펙트럼이다. 그림에서 원으로 표시된 부분이 주 피크가 존재하는 곳이며, 사각형으로 표시된 부분이 복합 피크가 존재하는 곳이다.

본 논문에서는, 평활화 마스크 M 과 다른 마스크를 조합하여 새로운 평활화 마스크를 만든다. 새로운 평활화 마스크에서도 주 피크와 복합 피크의 위치에서 영교차가 발생하는 특성이 그대로 유지되어야 하기 때문에, M 과 조합되는 평활화 마스크도 주 피크와 주변 피크의 위치에서 영교차가 발생해야 한다. 이러한 특성을 갖는 평활화 마스크들 중에서 평활화 마스크 M 과 조합될 때, 주변 피크를 제거하기에 적합한 스펙트럼 특성을 만들 수 있는 평활화 마스크가 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 M 의 크기와 회전 각도를 각각 n, d 라 할 때, 크기를 $\sqrt{2}n$ 으로 확대하고 각도를 $(d+45^\circ)$ 만큼 회전시킴으로써 평활화 마스크 M_{45} 를 만든다(그림 4(b)). 이 마스크는 M 과 같이 주 피크와 복합 피크의 위치에서 영교차가 발생하는 특성을 가질 뿐만 아니라 푸리에 공간에서 M 과 더해질 때, 주변 피크 위치에서 M 과의 위상차이로 인해 스펙트럼 값을 상쇄시켜 주변 피크를 제거하기에 적합한 푸리에 스펙트럼을 만든다.

M 의 푸리에 스펙트럼에서는 영교차가 형성하는 선분 위에 주 피크가 존재하는 반면, M_{45} 의 경우는 영교차가 형성하는 선분이 만나는 꼭지점 위치에 주 피크가 존재한다(그림 4). 또한 M_{45} 는 원점으로부터 첫 번째 영교차가 M 보다 가까운 위치에서 발생하기 때문에, M 에 비해 저주파 성분을 많이 제거하는 특성이 있다. 따라서, 푸리에 공간에서 M_{45} 와 채널 영상을 곱하게 되면 주 피크는 잘 제거되지만 의미있는 저주파 성분이 M 보다 많이 제거되게 된다.

푸리에 공간에서 M 과 M_{45} 를 각각 채널 영상과 곱한 후, 그 결과를 더하게 되면 주 피크와 복합 피크는 물론 주변 피크도 제거된 새로운 평활화 영상을 얻을 수 있다. 이때 평활화 가중치의 합은 1이 되어야 하고, 푸리에 변환은 선형 함수이므로 이러한 과정은 (식 2)와 같이 표현할 수 있다. (식 2)에서 F, H, H_{45} 는 각각 채널 영상 f , 평활화 마스크 M, M_{45} 의 푸리에 변환 결과이다.

$$F(aH) + F((1-a)H_{45}) = F(aH + (1-a)H_{45}) \quad (\text{식 } 2)$$

한편, 컨벌루션 이론에 의해 (식 2)는 (식 3)과 같

이 표현할 수 있으므로, 두 마스크를 더하여 만든 마스크로 채널 영상을 한번만 평활화함으로써 두 마스크로 채널 영상을 각각 평활화한 후 그 결과를 더한 것과 동일한 영상을 얻을 수 있다.

$$f * (aM) + f * ((1-a)M_{45}) = f * (aM + (1-a)M_{45}) \quad (\text{식 3})$$

본 논문에서는, M 과 M_{45} 를 더하여 채널 영상을 평활화하는데 적합한 새로운 평활화 마스크를 만들어 이것을 CM (Cross Mask)이라 부른다. CM 은 (식 4)과 같이 나타낼 수 있으며, 셀 크기가 5.0이고 인쇄 각도가 0° 인 채널 영상에 대한 M , M_{45} , CM 의 푸리에 스펙트럼이 그림 5에 나타나 있다.

$$CM = aM + (1-a)M_{45}, \quad 0 \leq a \leq 1 \quad (\text{식 4})$$

CM 의 푸리에 스펙트럼은 주 피크와 복합 피크의 위치에서 영교차가 발생해야 하는 특성은 그대로 유지되고, 주변 피크 근방에서 낮은 값을 갖는 스펙트럼 특성을 갖는다. 이것은 기존의 평활화 마스크에서는 나타나지 않는 것으로서, 주 피크와 복합 피크 및 주변 피크를 한번의 채널 영상 평활화 작업으로 제거하는데 적합하다. 이와 같은 특성이 나타난 이유는, 두 개의 평활화 마스크가 푸리에 공간에서 더해질 때 주 피크와 복합 피크 위치에서는 M 과 M_{45} 가 동시에 영교차가 나타나기 때문에 이들 피크 위치에서는 영교차가 유지되고, 주변 피크 위치 근방에서는 서로의 위상차이로 인해 그 값이 상쇄되었기 때문이다.

위상 차이로 인해 푸리에 스펙트럼 값이 상쇄되는 위치는 그림 6에서와 같이, 두 마스크의 평활화 가중치 a 에 의해 조정할 수 있다. 따라서 주 피크와 주변 피크의 위치를 고려하여 a 값을 결정하면 주 피크와 복합 피크는 물론, 기존의 평활화 마스크가 잘 제거하지 못했던 주변 피크도 효과적으로 제거할 수 있는 푸리에 스펙트럼 특성을 갖는 CM 을 만들 수 있다.

칼라 헤프톤 영상에서 분리한 C, M, Y 채널 영상에 대한 M , M_{45} 가 서로 다르기 때문에 a 값은 C, M, Y 채널 영상에 대해 각각 계산되어야 한다. 어떤 a 값을 이용하여 만든 평활화 마스크 CM 을 $CM_a(x,y)$ 라 할 때, $CM_a(x,y)$ 의 푸리에 변환은 (식 5)와 같이 나타낼 수 있으며 W , H 는 각각 CM 의 가로, 세로 크기이다.

$$H_{cm}(u, v) = \frac{1}{H \cdot W} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} CM_a(x, y) e^{-j2\pi(xu/W + vy/H)} \quad (\text{식 5})$$

where W =width and H =height

(식 5)를 이용하면, 주파수 공간에서 주 피크와 주변 피크 위치를 (u_p, v_p) 라 할 때, 어떤 a 에 의해 결정되는 $CM_a(x,y)$ 에 대한 $H_{cm}(u_p, v_p)$ 를 구할 수 있다. 따라서 a 값을 변화시켜 가면서 주 피크와 주변 피크 위치에서 채널 영상의 푸리에 변환 값 $F(u_p, v_p)$ 와 각 피크 위치에 대응되는 위치에서의 평활화 마스크의 푸리에 변환 값 $H_{cm}(u_p, v_p)$ 를 곱했을 때, 이 값들

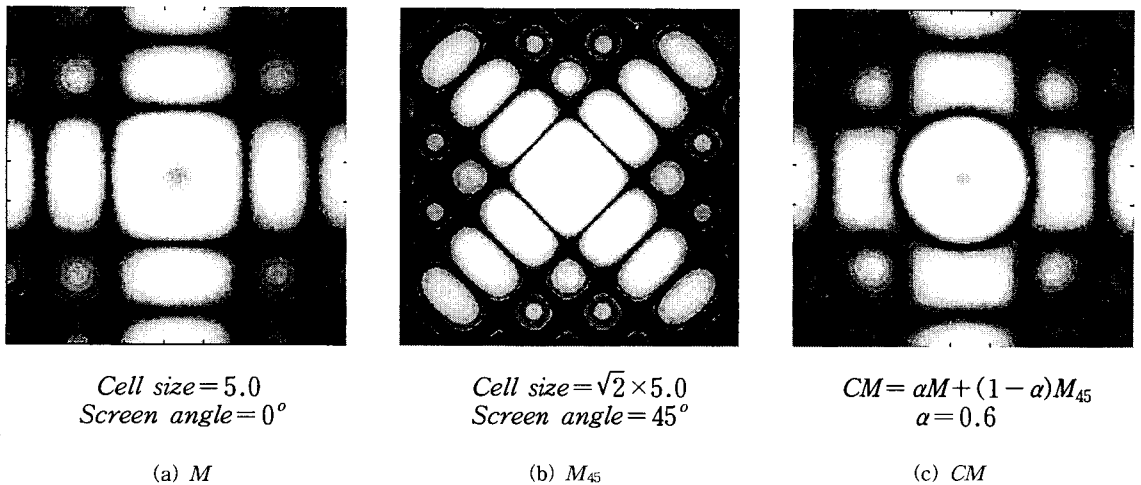


그림 5. CM 마스크의 제작 과정 및 스펙트럼 특성

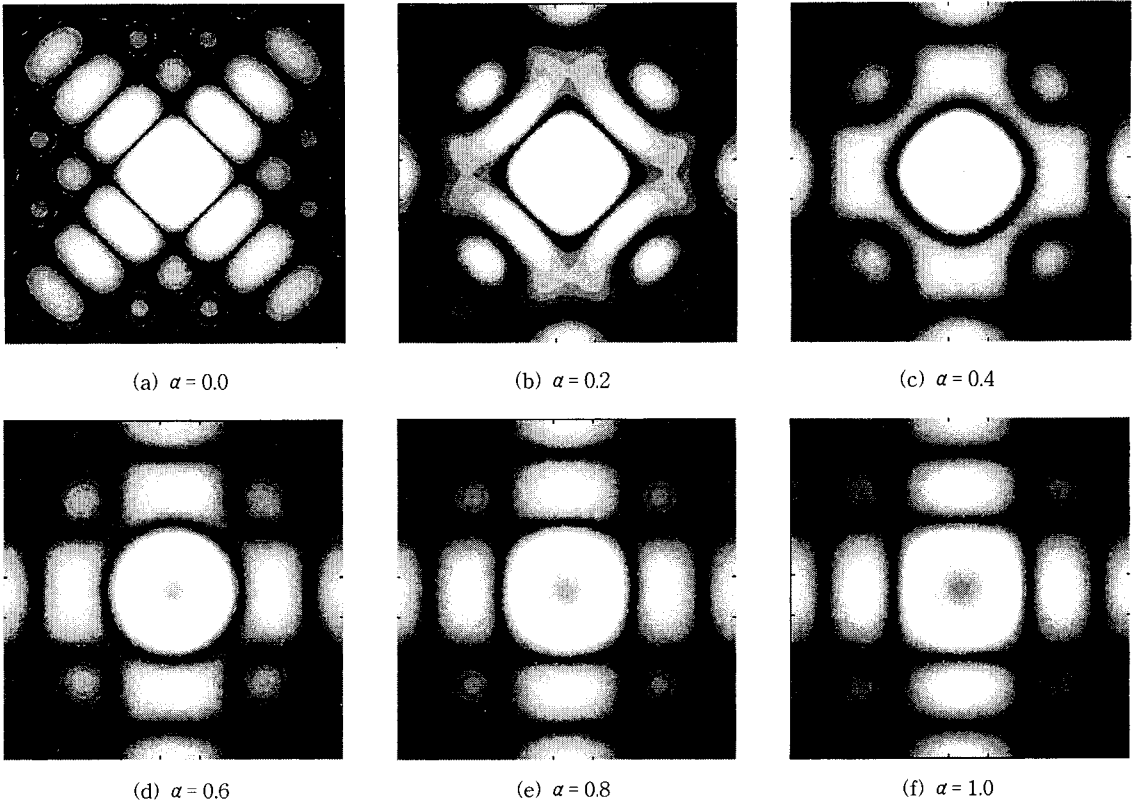


그림 6. α 값의 변화에 따른 CM의 푸리에 스펙트럼 특성 변화

을 최소화시키는 α 를 구할 수 있다.

이와 같이 구한 α 을 이용하여 만든 CM과 [7]에서 제안한 방법으로 만든 평활화 마스크의 스펙트럼을

비교하면 그림 7과 같다. 그림 7(a)는 [7]에서 제안한 마스크의 스펙트럼을 나타내고 있는데, 주 피크(사각형으로 표시된 피크)는 효과적으로 제거되지만 주

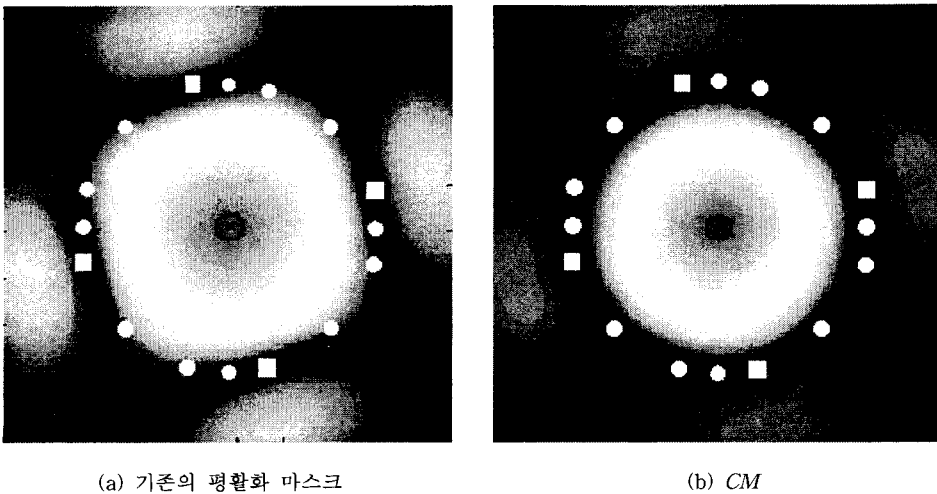
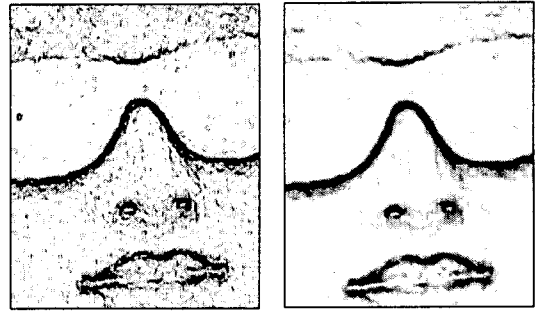


그림 7. 평활화 마스크의 푸리에 스펙트럼 비교



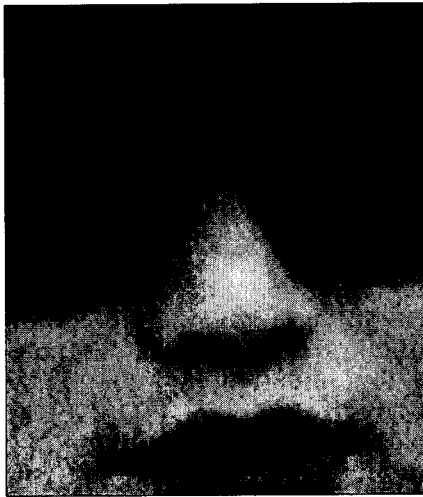
(a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법(CM)

그림 10. 역 해프토닝 결과 영상

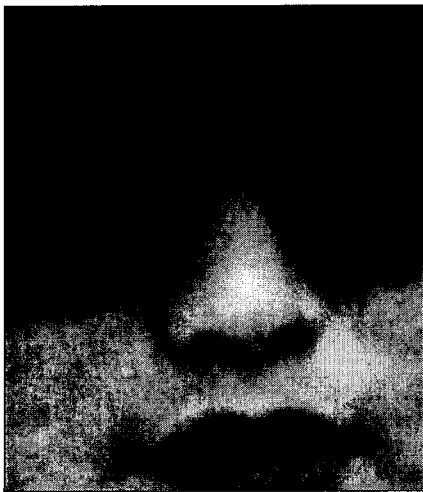


(a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법(CM)

그림 12. 확대된 경계 영상



(a) 기존의 방법



(b) 제안한 방법(CM)

그림 11. 확대된 결과 영상

결과 영상의 일부를 확대한 것을 그림 11에 나타내었 으며, 그림 12는 그림 11의 경계 영상이다.

결과 영상에서 알 수 있듯이, 제안한 방법은 기존 의 방법에 비해 해프토닝 과정에서 발생한 불필요한 패턴들을 잘 제거하되 의미있는 경계부분은 잘 보존 하였다. 이것은 본 논문에서 제안한 평활화 마스크가 주 피크는 물론 주변 피크도 잘 제거할 수 있도록 설계되었기 때문이다.

제안한 방법과 기존의 방법의 피크 제거 효과를 비교하기 위해, 실험 영상과 각 방법의 결과 영상에 대한 M 채널의 푸리에 스펙트럼을 그림 13에 나타내 었다. 기존의 방법은 그림 13 (b)에서 알 수 있듯이, 주변 피크에 대해 고려하지 않고 평활화 마스크를 설계하였기 때문에 역 해프토닝 후에도 주변 피크가 남아있음을 볼 수 있다. 또한 평활화 마스크 제작시 셀 크기의 반올림 현상으로 인해 주 피크에서 정확한 영교차가 발생하지 않게 되고, 이로 인해 주 피크도 완전히 제거되지 않았음을 볼 수 있다. 이와 같이 기 존 방법의 경우에는, 셀 크기의 반올림 오차가 클수 록 주 피크위치에서의 영교차 위치도 오차도 커지게 된다. 본 논문에서 제안한 방법은, 그림 13 (c)에서와 같이 기존의 방법보다 주 피크 및 주변 피크를 효과 적으로 제거할 수 있음을 알 수 있다.

신문과 잡지로부터 스캐닝한 영상(그림 14)을 JP-EG으로 직접 압축한 결과와 기존의 방법과 본 논문 에서 제안한 방법으로 구한 역 해프토닝 영상에 대한 압축 결과를 표 1에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이, 역 해프토닝을 수행한 경우는 해프톤 영상을 바로 압축한 것에 비해 많은 압축이 가능함을 알 수 있고, 기존의 방법에 비해 제안한 방법이 압축면에서도 향

도 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 평활화 마스크를 제안하였다. 기존의 평활화 마스크는 한 채널 영상에서 주 피크만 고려하여 설계된 반면, 본 논문에서 제안한 마스크는 주 피크 뿐만 아니라 주변 피크들도 효과적으로 제거할 수 있도록 설계되었다. 또한, 기존의 방법에서 셀 크기의 반올림으로 인해 발생하는 영교차 위치 오차를 줄일 수 있도록 마스크를 설계함으로써, 제안한 방법이 보다 효과적으로 주 피크와 주변 피크를 제거할 수 있도록 하였다. 또한 조정 변수를 통해 평활화 마스크의 푸리에 스펙트럼 특성이 다양한 칼라 해프톤 영상들에 대해 적합하게 조정될 수 있도록 하였다.

역 해프토닝된 결과 영상과 주파수 공간에서의 피크 분석을 통해, 제안한 평활화 마스크가 기존의 평활화 마스크 보다 효과적으로 평활화하면서도 경계 부분은 잘 보존함을 확인하였다. 또한 역 해프톤된 영상을 압축하여 그 결과를 비교함으로써 제안한 방법이 기존의 방법보다 결과 영상을 가공하여 활용하는 측면에서도 더 효과적임을 확인하였다. 기존의 방법에서는, 평활화 후 제거되지 않은 주변 피크들을 제거하기 위해 사용자가 개입하여 후처리를 하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안한 방법은 주 피크는 물론 주변 피크도 후처리 과정 없이 평활화 과정에서 제거가 가능하다.

제안한 방법은, 해프톤 영상의 압축, 칼라 팩스, 전자 출판 등과 같이 디지털화된 칼라 인쇄 영상을 응용하여 다루는 분야에서 효과적으로 활용될 수 있다. 차후에는 본 논문에서 제안한 평활화 마스크를 활용하여 모아레 피크를 효과적으로 제거할 수 있는 방법에 대해 연구할 것이다.

참 고 문 헌

[1] John C. Russ, "The Image Processing Handbook", 2nd Ed. CRC press, 1994
 [2] P. W. Wong, "Inverse Halftoning and kernel estimation for error diffusion," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 4, No. 4, pp. 486-498, 1995

[3] R. L. Stevenson, "Inverse halftoning via MAP estimation," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 6, No. 4, pp. 574-583, 1995
 [4] Z. Xiong, M. T. Orchard and K. Ramchandran, "Inverse Halftoning Using Wavelets," Proc. ICIP'96, Lausanne, Switzerland, Sep. 1996
 [5] L. M. Chen and H. M. Hang, "Inverse Halftoning for monochrome picture," IEEE ICIP, Vol. 2, pp. 1022-1026, 1994
 [6] Y. T. Kim and G. R. Arce, "Inverse ordered dithered halftoning using permutation filters," IEEE ICIP Vol.2, pp. 1017-1021, 1994
 [7] Jorgen Rydenius, "Inverse Halftoning of Scanned Colour Images," Master thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweden, 1997



김 종 민

1992년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 1994년 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 1996년 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
 1996년 3월~현재 고신대학교 전산수학과 전임강사
 관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터그래픽



김 민 환

1980년 서울대학교 전기공학과 학사
 1983년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
 1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
 1991년~1992년 Univ. of Washington 객원연구원
 1986년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 화상처리 및 이해, 칼라공학, 컴퓨터그래픽