

# 새로운 평활화 마스크를 이용한 칼라 역 해프토닝

김 종민\*, 김 민환\*\*

\*고신대학교 전산수학과

\*\*부산대학교 컴퓨터공학과

## Color Inverse Halftoning using A New Smoothing Mask

Jong-Min Kim\*, Min-Hwan Kim\*\*

\*Dept. of Computational mathematics, Kosin University

\*\*Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

### 요 약

칼라 역 해프토닝(Color inverse halftoning)은 해프토닝된 칼라 영상을 시각적으로 보다 자연스러운 연속계조 칼라영상으로 변환해 주는 방법이다. 본 논문에서는, 분리된 각 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 평활화해 줄 수 있으며, 마스크의 특성을 평활화하고자 하는 채널 영상에 적합하게 조정할 수 있도록 설계하였다. 실험을 통해, 평활화된 채널 영상과 그 스펙트럼을 비교 분석함으로써 제안한 방법의 유용성을 확인하였다. 이 방법은 전자 출판, 칼라 팩스, 해프톤 영상의 압축 등의 분야에 활용될 수 있다.

### 1. 서론

멀티미디어 기술의 발전과 저가의 장비 보급으로 인해 칼라인쇄물이 보편적으로 사용되고 있다. 이러한 칼라인쇄물에서의 영상 부분은 CMYK 칼라모델의 기본 칼라인 Cyan, Magenta, Yellow, black 각각에 대해 미리 정해진 서로 다른 셀(cell) 크기와 스크린 각도(screen angle)로 해프토닝(halftoning)되어 있다[1]. 해프토닝은 이진화된 해프톤 셀을 이용하여 종이 위에 영상을 표현하는 방법이므로, 스캐

닝된 해프톤 영상에는 해프톤 셀 모양이 그대로 존재하여 모니터상에 디스플레이될 때 화질의 저하가 발생한다. 또한 스캐닝된 해프톤 영상에 대해, 기존의 영상 처리 기법을 적용할 경우, 연속계조영상(continuous-tone image)에 대해 적용했을 때 보다 비효율적이다. 따라서, 해프톤 영상을 연속계조 영상으로 변환하는 것은 실제 응용분야에서 중요하다[5].

해프톤 영상을 연속계조 영상으로 변환하는 것을 역 해프토닝(inverse halftoning)이라 한다. 기존의 역 해프토닝 방법은 흑색 해프톤 영상과 칼라 해프

톤 영상을 다루는 방법으로 나눌 수 있다. 흑백 영상에 대한 역 해프토닝의 기본 원리는 저주파 필터링(low pass filtering)을 사용한다. 저주파 필터링 방법에서는 먼저 정확한 cutoff 주파수의 예측 및 설정 문제가 발생하며, 고주파 성분의 제거에 의한 경계 정보가 상실되는 문제가 발생한다. 대부분의 연구에서는 고주파 성분의 효율적인 복구 문제만을 다루고 있다. 즉 단순한 저주파 필터링을 하는 것이 아니라, 분산정보[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 발생한 요소들을 효과적으로 제거하지 못해 각 칼라 채널이 제대로 복구되지 않기 때문이다. 따라서, 이와 같은 특성이 충분히 고려되지 않은 기존의 흑백 영상에 대한 역 해프토닝 방법은 칼라 해프톤 영상에 적용하기 곤란하다.

칼라 해프톤 영상을 다루는 연구는 미비한 상태인데, [7]에서는 푸리에 변환을 통해 입력영상의 주파수 특성을 분석하여 cutoff 주파수 문제 및 고주파 성분 유지 문제를 함께 고려하고 있다. 이 방법에서는, 해프토닝에 의한 패턴화 현상이 푸리에 스펙트럼상에서 형성하는 피크들은 Sinc 함수를 이용하여 효과적으로 제거할 수 있다는 원리를 이용하였다. 이때, 푸리에 공간에서 채널 영상과 Sinc 함수와의 곱은 영상 공간에서 가중치(weight) 값이 균일한 마스크(flat average mask)와의 컨볼루션(convolution)이므로, 이 마스크와 채널 영상을 컨볼루션하여 패턴화 현상을 제거하였다. 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 남게되어 시각적인 질적 저하를 야기시킨다. 이러한 문제점은, 역 해프토닝에서 사용된 평활화 마스크 설계과정에서 주변 피크에 대한 고려를 충분히 하지 않았기 때문이다.

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 제거해주며 경계 성분을 나타내는 고주파 성분을 불필요하게 제거하지 않도록 설계되었기 때문에 해프톤 패턴을 효과적으로 제거하면서도 경계 성분은 보존할 수 있다.

## 2. 해프톤 영상의 특성 분석

스캐닝된 흑백 해프톤 영상의 푸리에 스펙트럼을 보면, 그림 1에서와 같이 피크들이 존재한다. 이 피크들은 해프토닝 과정에서 특정한 셀 크기와 스크린 각도에 의해 인쇄된 해프톤 셀 패턴에 의해 형성된 것인데, 그림 1은 45도 각도로 해프토닝된 경우이다. 이러한 피크들은 연속계조영상에서는 나타나지 않는 해프톤 영상의 고유한 특성이다. 따라서, 해프톤 영상으로부터 시각적으로 자연스러운 연속계조영상을 얻기 위해서는 피크들을 효과적으로 제거해야 한다.

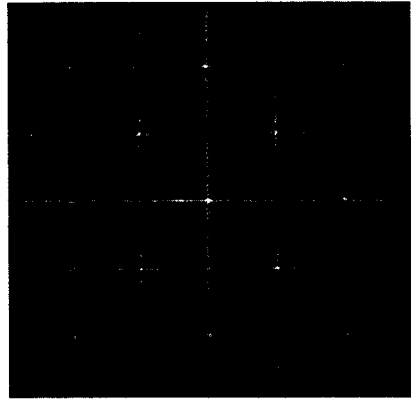
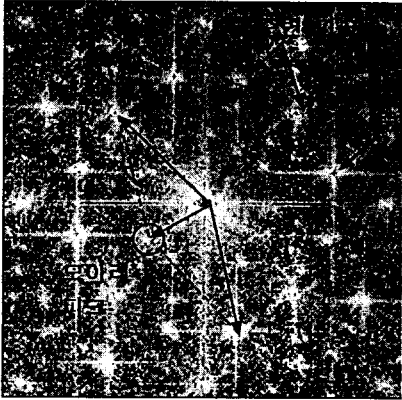


그림 1. 흑백 해프톤 영상의 스펙트럼

칼라 해프톤 영상의 경우는 그림 2에서와 같이, 흑백 해프톤 영상과 다른 스펙트럼 특성을 갖는다. 그림 2는 스캐닝된 RGB 칼라 해프톤 영상으로부터 칼라 채널을 분리하여 구한 C 채널 영상의 푸리에 스펙트럼이다. C 채널 영상의 푸리에 스펙트럼에서는 Cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의한 주 피크가 원점을 제외한 영역에서 가장 높게 나타나며, 각 분면마다 원점 대칭인 위치에 있다. 주변 피크들은, 원점을 중심으로 원점과 주 피크의 거리를 반지름으로 하는 원(circle) 근방에서 비교적 높은 값을 갖고

존재하는데, 이것은 다른 칼라로 인쇄된 헤프톤 셀에 의한 것이다.



피크

그림 2. 칼라 헤프톤 영상의 스펙트럼

한편, 서로 다른 각도로 인쇄된 두 개 이상의 헤프톤 셀 패턴들이 겹쳐 찍힐 경우, 원하지 않는 셀 패턴이 나타나기도 한다. 이 패턴을 모아레(moire)라 한다. 모아레 피크는 푸리에 스펙트럼에서 피크들의 벡터 합으로 나타나며, 주 피크보다 원점에서 가까운 거리에 존재한다. 또한 피크들의 벡터 합의 위치에 복합 피크(multiple peaks)가 나타나는데, 이 피크들은 주 피크보다 원점에서 먼 거리에 있다.

### 3. 새로운 평활화 마스크의 설계

논문 [7]에서는, Sinc 함수를 이용한 흑백 헤프톤 영상의 역 헤프톤 방법을 칼라 헤프톤 영상에 확대 적용하였다. 이 방법은, 주 피크를 효과적으로 제거할 수 있는 Sinc 함수 특성을 갖는 마스크를 채널 별로 만든 후, 채널 영상과 해당 마스크를 컨벌루션 함으로써 칼라 역 헤프톤을 수행한다. 그러나 이때 사용된 평활화 마스크는 주 피크를 잘 제거할 수 있도록 설계하였기 때문에, 주 피크와 다른 위치에 존재하는 주변 피크들은 효과적으로 제거되지 않는 문제가 발생하였다. 이와 같이 제거되지 않은 피크는 역 헤프톤된 영상에서 패턴을 형성하므로, 시각적으로 자연스러운 역 헤프톤 영상을 얻기 위해서는 주 피크는 물론 주변 피크들도 효과적으로 제거할 수 있는 평활화 마스크가 필요하다.

이에 따라, 본 논문에서는 주 피크뿐만 아니라 주변 피크들도 효과적으로 제거할 수 있는 평활화 마스크를 제안한다.

본 논문에서는 [7]에서의 마스크와 같은 효과를 내는 마스크를 새로 설계하여, [7]에서의 마스크와 새로운 마스크를 조합함으로써 주변 피크도 효과적으로 제거할 수 있는 방법을 제안한다. 이때, 마스크의 스펙트럼 특성을 변화시킬 수 있는 조정 변수(control variable)를 두어, 각 채널 영상의 피크 특성에 따라 조정할 수 있도록 하였다.

새로운 마스크를 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 [7]에서 제안한 방법을 이용하여 평활화 마스크  $M$ 을 구한다.  $M$ 의 크기와 회전 각도를 각각  $n$ ,  $d$ 라 하면, 크기를  $n*\sqrt{2}$ 로 확대하고 각도를  $(d+45^\circ)$  만큼 회전함으로써 새로운 마스크  $M_{45}$ 를 구한다. 본 논문에서는  $M$ 과  $M_{45}$ 를 더하여 새로운 평활화 마스크를 만드는데, 이 마스크를  $CM$ (Cross Mask)이라 부르기로 한다. 새로운 평활화 마스크  $CM$ 은, 주 피크와 복합 피크의 위치에서 영교차점이 나타나며, 주변 피크 위치에서 매우 낮은 스펙트럼 값을 갖는 특성이 있다. 이러한 특성들로 인해, 제안한 평활화 마스크는 칼라 헤프톤 영상의 스펙트럼에서 나타나는 피크들을 제거하기에 적합하다.

두 개의 마스크를 더하여  $CM$ 을 만들 때, 그 가중치(weight) 합은 1이 되어야 하므로,  $CM$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$CM = \alpha * M + (1 - \alpha) * M_{45}, \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

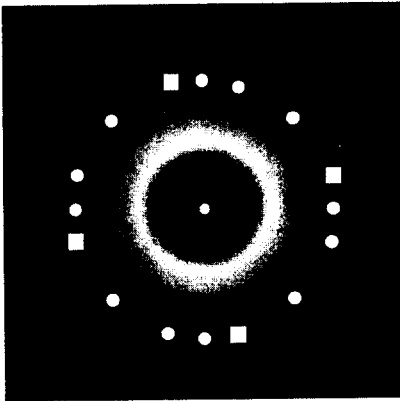
이때, 조정 변수  $\alpha$  는 마스크의 푸리에 스펙트럼 특성을 결정하게 되는데, 이 값은 주 피크와 주변 피크가 잘 제거될 수 있도록 조정되어야 한다. 일반적으로 주변 피크는, 원점을 중심으로 하고 주 피크와 원점의 거리를 반지름으로 하는 원 근방에 위치한다. 따라서,  $\alpha$  값은 이러한 주변 피크의 위치 특성을 고려하여 결정해야 한다.

본 논문에서는 실험적으로  $\alpha$  값을 0.65로 정하였다. 왜냐하면  $\alpha$  값이 0.65일 경우, 그림 3의 (a)에서와 같이 주 피크(사각형으로 표시된 피크) 위치에서 영교차점이 발생하고, 주변 피크(원으로 표시된 피크)에서 스펙트럼 값이 매우 낮은 값으로 나타나는 특성을 갖기 때문이다. 그림 (b)는 [7]에서 제안한 마스크의 스펙트럼을 나타내고 있는데, 주 피크는

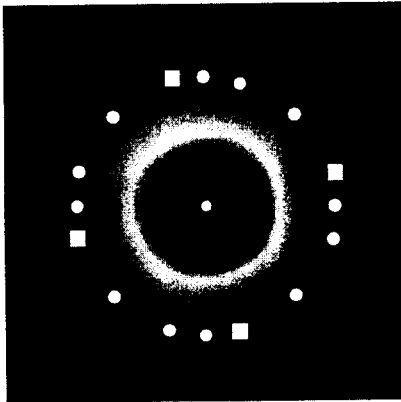
효과적으로 제거되지만 주변 피크는 상대적으로 높은 스펙트럼 값을 갖는 위치에 존재하기 때문에 주변 피크는 효과적으로 제거되지 않게 된다.

본 논문에서 제안한 평활화 마스크는 기존의 마스크 보다 주 피크는 물론 주변 피크도 효과적으로 제거할 수 있는 특성이 있다. 따라서, 제안한 마스크를 이용하면 기존의 방법에 비해 시각적으로 자연스럽게 평활화된 역 헤프토닝 결과 영상을 얻을 수 있다.

인하였다. 그림 4 (a)는 600dpi로 스캐닝한 칼라 헤프톤 영상이며, (b)는 이 영상을 C, M, Y 채널로 분리한 후 C 채널 영상만 나타낸 것인데, 그림에서 볼 수 있듯이 헤프톤 패턴이 뚜렷이 나타나 있다. 그림 5 (a), (b)는 각각 [7]에서 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법으로 만든 마스크를 이용하여 그림 4 (b)를 평활화한 결과이며, (c)와 (d)는 각각 (a)와 (b)의 퓨리에 스펙트럼이다.

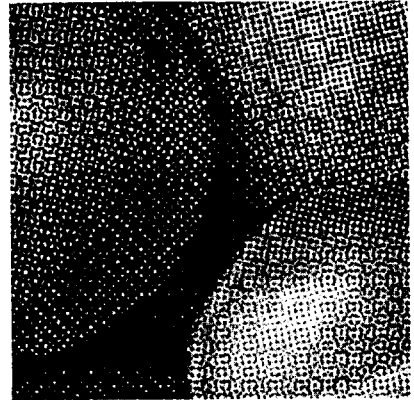


(a) 제안한 평활화 마스크

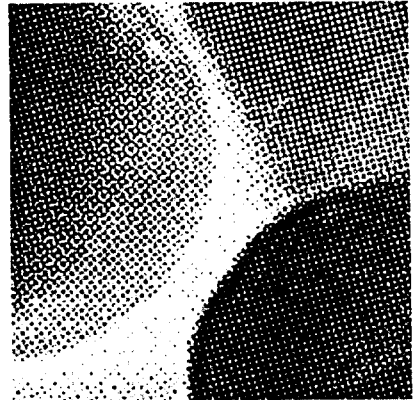


(b) 기존의 평활화 마스크

그림 3. 평활화 마스크의 퓨리에 스펙트럼 비교



(a) 칼라 헤프톤 영상



(b) C 채널 영상

그림 4. 실험 영상

#### 4. 실험 및 토의

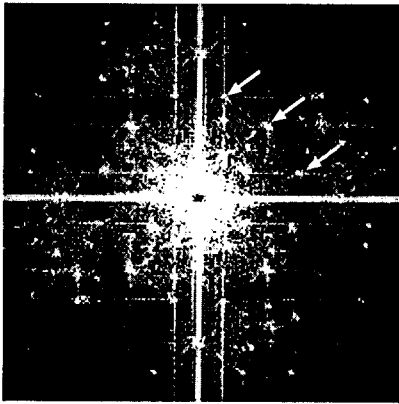
본 논문에서 제안한 방법은 Windows95에서 Matlab(ver 5.0)을 이용하여 프로그램하였으며, 600dpi로 스캐닝한 영상에 적용하여 그 유용성을 확



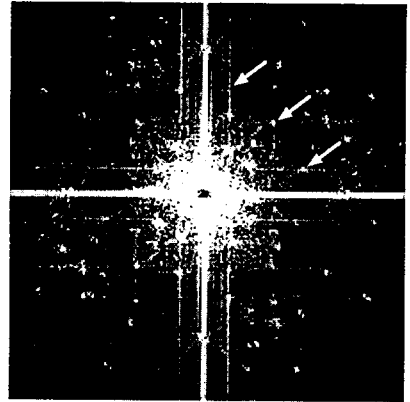
(a)



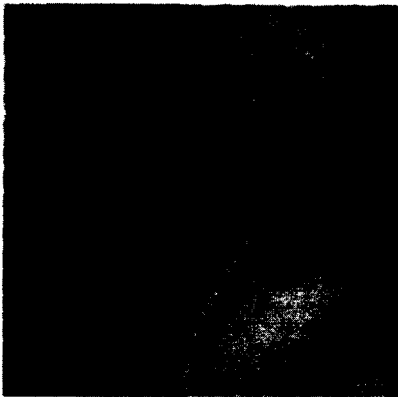
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 5. 결과 영상

그림 5 (e), (f)는 각각 [7]에서 제안한 방법과 본 논문에서 제안한 방법으로 채널 영상을 평활화하여 얻은 역 해프톤링 영상이다. 평활화된 C 채널 영상과 그 퓨리에 스펙트럼에서 볼 수 있듯이, 제안한 방법은 주 피크는 물론 주변 피크들도 효과적으로 제거하였음을 알 수 있다. 이것은 평활화 마스크의 퓨리에 스펙트럼 특성이 주 피크와 주변 피크를 효과적으로 제거하는데 적합하도록 조정되었기 때문이다.

모아레 피크는 주 피크와 주변 피크보다 원점에 가까운 위치에 존재하기 때문에, 주 피크와 주변 피크를 제거하기 위한 평활화 마스크를 이용하여 효과적으로 제거하기 어려운 문제가 있다. 모아레 피크를 제거하기 위해 모아레 피크의 위치에서 영교차점이 발생하는 평활화 마스크를 이용하면, 불필요하게 많은 주파수 성분이 제거되어 역 해프톤링된 영상이 지나치게 흐려(blur)지는 현상이 발생한다. 따라서, 모아레 피크 제거를 위한 적절한 방법이 요구된다.

한편, Y 채널에서의 주 피크는 일반적으로 다른 채널의 주 피크보다 원점에서 먼 곳에 위치한다. 이것은 인쇄시 Yellow 칼라의 셀 크기가 다른 칼라보다 크기 때문이다. 따라서, 조정 변수  $\alpha$  값은, 이러한 특성을 고려하여 채널 별로 최적의 값으로 결정될 수 있도록 하는 보완작업이 필요하다.

## 5. 결론

본 논문에서는, 주 피크 뿐만 아니라 주변 피크들도 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 평활화 마스크를 제안하고 이를 이용한 칼라 역 해프톤링 방법을 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. 따라서, 제안한 방법을 통해 기존의 방법보다 시각적으로 자연스럽게 평활화된 역 해프톤 영상을 얻을 수 있었다.

제안한 평활화 마스크의 성능 평가를 위해 스케닝된 해프톤 영상을 C, M, Y 채널로 분리한 후, 각 채널 영상을 평활화한 영상과 그 스펙트럼을 비교 분석하였으며, 이를 통해 제안한 마스크가 기존의 마스크보다 효과적으로 채널 영상을 평활화함을 확인하였다.

제안한 방법은, 해프톤 영상의 압축, 칼라 팩시밀리, 전자 출판 등과 같이 디지털화된 칼라 인쇄 영상을 다루는 분야에서 효과적으로 활용될 수 있다.

차후에는 현재 주변 피크를 효과적으로 제거하기 위해 실험적으로 정한  $\alpha$  값을 계산을 통해 자동으로 최적의 값을 구할 수 있는 방법과 모아레 피크를 효과적으로 제거할 수 있는 방법에 대해 연구할 것이다.

## 참고문헌

- [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
- [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