

# 칼라 역 해프토닝을 위한 적응적 평활화

변 지윤\*, 김 종민\*\*, 김 성영\*\*\*, 한 영미\*, 김 민환\*  
\*부산대학교 컴퓨터공학과  
\*\*고신대학교 전산수학과  
\*\*\*창원전문대학 멀티미디어과

## Adaptive Smoothing for Color Inverse Halftoning

Ji-Yun Byun\*, Jong-Min Kim\*\*, Sung-young Kim\*\*\*, Young-Mi Han\*, Min-Hwan Kim\*  
\* Dept. of Computer Engineering, Pusan National University  
\*\* Dept. of Computational mathematics, Kosin University  
\*\*\* Dept. of Multimedia, Changwon Junior College

### 요 약

칼라 역 해프토닝(Color inverse halftoning)은 해프토닝된 칼라 영상을 시각적으로 보다 자연스러운 연속계조 영상으로 변환해 주는 방법이다. 본 논문에서는, 칼라 채널 영상에서 나타나는 모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서 경계를 보존할 수 있는 적응적 평활화(adaptive smoothing) 방법을 제안하였다. 적응적 평활화 방법은 해프톤 영상을 블록으로 나눈 후, 각 블록에서의 모아레 패턴이 존재하는 정도를 나타내는 모아레 가중치 값을 계산하고, 이 값에 따라 평활화 정도를 조절한다. 실험을 통해 제안한 방법이 경계를 효과적으로 보존하면서도 모아레 패턴을 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다. 제안한 방법은 전자 출판, 칼라 팩스, 해프톤 영상의 압축, 디지털 도서관 구축 등과 같은 멀티미디어 응용 분야에서 유용하게 활용할 수 있다.

### 1. 서론

멀티미디어 기술의 발전과 저가의 장비 보급으로 인해 칼라인쇄물이 보편적으로 사용되고 있다. 칼라 인쇄물에서의 영상부분은, CMYK 칼라 모델의 기본 칼라인 Cyan, Magenta, Yellow, Black 각각에 대해 미리 정해진 서로 다른 셀크기와 스크린 각도(screen angle)로 해프토닝된 영상을 중첩 인쇄하여 표현한다[1].

따라서, 스캐닝된 해프톤 영상에는 해프톤 셀 모양이 그대로 존재하기 때문에 모니터 상에서 디스플레이 될 때 화질의 저하가 발생한다. 또한 기존의 영상처리기법들은 대부분 연속계조영

상을 대상으로 하기 때문에, 스캐닝된 해프톤 영상에 대해 기존의 영상처리 기법들을 적용할 경우, 연속계조영상에 대해 적용했을 때 보다 비효율적이다. 따라서, 해프톤 영상을 응용분야에 활용하기 위해서는 연속계조영상으로 변환하는 것이 필수적인데, 이러한 과정을 역 해프토닝이라고 한다. 역 해프토닝은 디지털화된 해프톤 영상을 다루는 분야인 해프톤 영상의 압축, 칼라 팩시밀리, 전자출판분야 등 멀티미디어 응용 분야에서 활용 가능한 기술이다.

기존의 역 해프토닝 방법은 주로 흑백 해프톤 영상을 다루고 있다. 역 해프토닝의 가장 기본적인 방법은 저주파 필터링(low pass filtering)을 사용하여 해프톤 패턴을 없애 주는 것이다. 그러

나 이 방법은 원래 영상이 가지고 있던 고주파 성분을 제거하기 때문에 경계부분을 손상시키는 문제점이 있다. 따라서 대부분의 연구는 역 해프토닝 과정에서 경계를 잘 보존하는 방법을 제안하고 있다[2-4].

칼라 해프톤 영상에서는 칼라 채널들이 각각 서로 다른 해프톤 셀 크기와 스크린 인쇄 각도로 중첩하여 인쇄되기 때문에 칼라 채널 복구가 어려우며, 흑백 해프톤 영상에서 발생하지 않는 모아레 현상도 나타나기 때문에 이러한 특성이 역 해프토닝 과정에서 충분히 고려되어야 한다. 따라서, 칼라 해프톤 영상이 가지는 고유한 특성이 고려되지 않은 기존의 흑백 영상의 역 해프토닝 방법은 칼라 해프톤 영상에 적용하기 곤란하다.

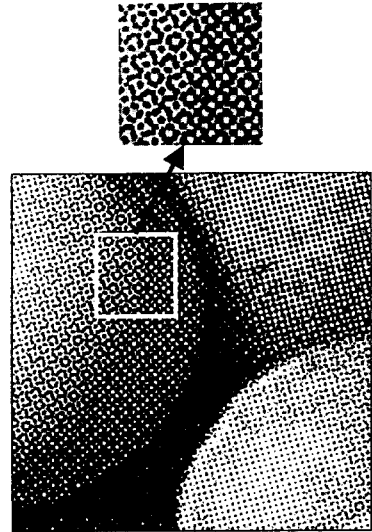
기존의 칼라 역 해프토닝 방법[5]에서는 푸리에 공간에서 칼라 해프톤 영상이 갖는 주파수 특성을 분석한 후, 해프토닝에 의한 패턴이 푸리에 공간에서 이루는 피크를 Sinc 함수를 이용하여 제거할 수 있다는 원리를 이용하였다. [5]에서는, 해프톤 영상에서 분리한 채널 영상을 푸리에 변환했을 때 해프톤 셀에 의해 나타나는 피크들 중, 가장 높은 피크인 주 피크를 제거할 수 있는 Sinc 함수로 피크를 제거한다. 이때, 제거되지 않는 모아레 피크들과 다른 피크들은 역 해프토닝한 영상에서 패턴으로 남게되므로 후처리 과정을 통해 제거해야 한다.

본 논문에서는, 칼라 역 해프토닝에서 고려해야 할 경계보존과 모아레 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 적응적 평활화 방법을 제안한다. 제안한 방법은, 블록단위로 영상을 탐색하며 각 블록에 대해 모아레 패턴이 어느 정도 강하게 분포하는지를 나타내는 모아레 가중치를 계산하고, 이 가중치에 따라 평활화 정도를 조절하기 때문에 경계부분을 잘 보존하면서도 모아레 패턴을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한, 한번의 평활화 과정으로 경계를 보존하며 모아레를 제거할 수 있기 때문에 후처리과정이 불필요하다.

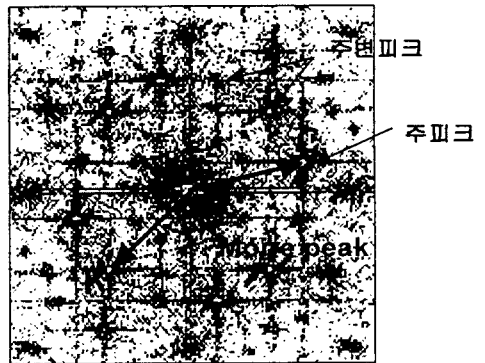
## 2. 칼라해프톤 영상의 스펙트럼 특성

스캐닝한 칼라 해프톤 영상을 C, M, Y 채널로 분리한 후, C 채널 영상에 대한 푸리에 스펙트럼을 살펴보면 흑백 해프톤 영상에서 나타나지 않는 피크가 존재하는데, 모아레 피크와 주변 피크이다. 모아레 피크는 칼라 채널의 간섭현상에 의해 발생한 것으로서[7], 그림 1 (a)에서와 같이 채널 영상에 존재하는 모아레 패턴에 의해 형성된 것이다. 주변 피크는, 다른 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의해 형성된 것으로서, 칼라 채널 분리과정에서 각 채널을 완벽하게 분리할 수 없기 때문에 발생한다.

한편, 해당 채널 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의해 형성된 피크(주 피크)가 원점을 제외한 영역에서 가장 크게 나타나며, 각 분면마다 대칭인 위치에 있다.



(a) C 채널 영상과 모아레 패턴



(b) 푸리에 스펙트럼

그림 1. 칼라 해프톤 영상의 특성

모아레에 대한 특성은 주파수 공간에서 벡터의 표현으로 분석 가능하다[7]. 채널 영상의 푸리에 스펙트럼에서 모아레 피크는, 주피크와 주변 피크들의 벡터 합의 위치에 존재하는데, 그림 1 (b)에 나타난 모아레 피크는 15° 각도로 인쇄된 Cyan 주 피크와 45° 각도로 인쇄된 Black 주변 피크에 의해 발생한 예이며, 다른 조합으로도 나타날 수 있다.

모아레 피크의 위치는 주 피크와 주변 피크

로부터 쉽게 구할 수 있으나, 주 피크와 주변 피크 보다 원점에 가까운 저주파 영역에 위치하기 때문에 주 피크와 주변 피크보다 제거하기가 어렵다. 왜냐하면, 모아레 피크를 제거하기 위한 평활화 마스크로 전체 채널 영상을 평활화하면, 모아레 패턴은 잘 제거할 수 있으나 모아레 패턴이 존재하지 않는 영역에서의 고주파 성분이 너무 많이 제거되어 의미있는 경계부분이 손실되기 때문이다. 한편 주 피크와 주변 피크를 효과적으로 제거할 수 있는 마스크를 사용하면, 고주파 성분을 잘 보존하는 반면 모아레 피크가 제거되지 않는 문제가 발생한다. 따라서 하나의 평활화 마스크로 전체 채널 영상을 평활화하는 방법은, 경계를 보존하면서 모아레 피크를 효과적으로 제거할 수 없다.

### 3. 적응적 평활화

영역의 경계를 잘 보존하면서 모아레 패턴을 제거하기 위해서는, 채널 영상을 모아레가 아닌 영역과 모아레 영역을 구분하여 처리해야 한다. 본 연구에서는 한 채널 영상에서 모아레 영역을 찾기 위해, 채널 영상을 16x16의 서브 블록으로 분할한 후, 각 서브 블록에 대해 모아레 피크의 세기를 조사하여 모아레 블록 여부를 결정한다.

각 서브 블록이 모아레 블록인지를 판단하기 위해 그림 2와 같이 인접한 8개의 블록을 함께 고려한다. 이때, 9개의 16x16 블록을 모아레 테스트 블록(MTB, Moire Test Block)이라 한다. 이와 같이 주변의 블록을 포함하여 테스트 하는 이유는, 어느 정도 큰 영역을 고려해야 영역 내에 존재하는 모아레 패턴이 주파수 공간에서 피크를 형성하기 때문이다.

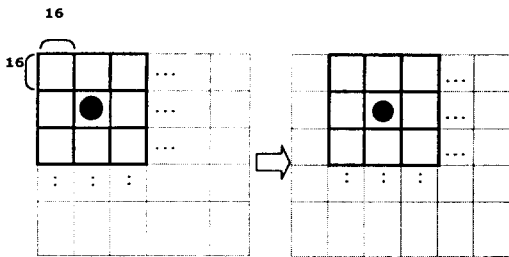


그림 2. 서브 블록 및 모아레 테스트 블록의 예

어떤 서브 블록이 모아레 블록인지를 결정하기 위해, 해당 MTB의 푸리에 스펙트럼에서 모아레가 어느 정도 크기로 피크를 형성하고 있는지를 계산한다. 이때, 모아레 피크가 존재할 수 있는 모아레 좌표에서의 스펙트럼 값이 높다 할

지라도, 모아레 좌표의 주변이 함께 높은 스펙트럼 값을 갖는 경우가 있기 때문에, 단순히 모아레 좌표에서의 스펙트럼 값만 사용하면 모아레 피크의 상대적인 크기를 제대로 구할 수 없다.

이에 따라, 본 논문에서는 주 피크와 주변 피크의 조합으로 모아레가 강하게 나타날 수 있는 모아레 좌표들을 구한 후, 각 모아레 좌표를 중심으로 3x3 범위내의 푸리에 스펙트럼 값의 평균값과 모아레 좌표의 스펙트럼 값과의 차이를 모아레 피크의 크기로 사용하였다. 이렇게 구한 모아레 피크의 크기들의 합이 임계값을 넘으면, MTB의 중심 서브 블록을 모아레 블록이라 결정하고 모아레 가중치를 1씩 증가시킨다.

한 서브 블록이 모아레 블록으로 결정되면, 서브 블록과 인접한 8개의 서브 블록의 모아레 가중치도 1씩 증가시킨다. 이와 같이 인접 서브 블록의 가중치 값도 증가시키는 이유는, 중심 서브 블록이 모아레 블록으로 판단되는데 주변 서브 블록들이 기여했기 때문이다. 한 서브 블록과 주변 서브 블록의 대한 모아레 가중치가 결정되면, 그림 2에서와 같이 서브 블록을 이동하며 모아레 블록 테스트를 수행하여 채널 영상에 존재하는 모든 서브 블록에 대한 모아레 가중치를 계산한다. 이때, 가중치가 높은 블록은 모아레 패턴이 강한 블록이라 판단할 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법으로 그림 1(a)에 대해 서브 블록들의 가중치를 구한 결과가 그림 3(b)에 나타나 있으며, 그레이 값이 낮을수록 모아레 가중치가 높은 블록이다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 모아레가 강한 영역에 대해서는 모아레 가중치가 높은 값을 가지며, 모아레가 아닌 영역으로 갈수록 그 값이 점진적으로 낮아지는 것을 알 수 있다

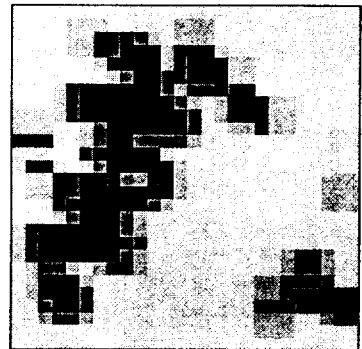


그림 3. 모아레 블록의 추출 결과

채널 영상의 서브 블록의 가중치가 결정되면 이 가중치에 따라 서로 다른 평활화 마스크를 적용하여 채널 영상 평활화를 한다. 이때, 모아

레 가장치가 0-2 인 경우는 모아레 패턴이 없거나 아주 약한 서브 블록이므로, 경계 보존 효과가 있으면서 불필요한 헤프톤 패턴을 효과적으로 제거할 수 있는 [6]에서 제안한 평활화 마스크로 평활화한다.

한편 모아레 가장치가 3-9 인 서브 블록의 경우는 모아레 피크를 제거할 수 있는 모아레 마스크를 제작하여 평활화한다. 그림 1 (b)에서는 Cyan 피크와 Black 피크에 의해 발생한 모아레 피크와 Magenta와 Black 피크에 의해 형성된 모아레 피크도 강하게 나타나고 있다. 본 논문에서는, 이들 모아레 피크를 동시에 제거하기 위해 두 개의 모아레 피크 위치에서 영교차가 발생하는 모아레 마스크를 제작하여 서브 블록을 평활화하였다. 이때, 모아레 마스크의 크기는 서브 블록의 가장치에 비례하게 조절하여 결정함으로써 서브 블록의 평활화 정도가 모아레 강도에 따라 조절되게 하였다.

본 논문에서 제안한 방법은, 채널 영상을 평활화할 때 하나의 평활화 마스크를 일괄적으로 적용하지 않고 각 서브 블록의 특성 즉 모아레 패턴의 존재 여부와 그 정도에 따라 평활화 정도를 조정하면서 적용적으로 평활화하기 때문에 시각적으로 자연스럽게 평활화된 영상을 얻을 수가 있다.

### 3. 실험 및 토의

본 논문에서 제안한 방법은 Windows95 에서 Matlab(ver 5.0)을 이용해 프로그램 하였으며, 600 dpi 로 스캐닝한 헤프톤 영상에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

그림 4는 600dpi 로 스캐닝한 칼라 헤프톤 영상이며, 그림 5 (a), (b), (c)는 그림 4를 각각 가우시안 필터, [5]에서 제안한 방법, 본 논문에서 제안한 방법으로 역 헤프톤닝한 영상과 각 영상에 대한 C 채널 영상의 푸리에 스펙트럼이다. 그림 6은 그림 5의 경계 영상이다.

모아레를 제거하기 위해 가우시안 필터를 사용하여 과도하게 평활화하면 모아레 피크를 제거할 수는 있다. 그러나, 의미있는 고주파 성분이 너무 많이 제거되므로써 블러링이 발생하게 되어 그림 6 (a)에서와 같이 오른쪽 아래 좌일의 경계부분이 손상된 것을 볼 수 있다.

한편, [5]에서 제안한 방법은 채널 영상의 평활화 단계에서 모아레를 제거하지 못하기 때문에, 후처리 과정을 통해 평활화 후에도 남아 있는 모아레 피크와 다른 피크들을 제거한다. 그림 5 (b)는 이와 같은 후처리 과정을 거쳐 [5]에서 제안한 방법으로 역 헤프톤닝한 결과 영상인데, 역 헤프톤닝 후에도 모아레 패턴이 있던

영역에 패턴이 제거되지 않고 남아 있음을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법은, 헤프톤 채널 영상의 영역별 특성에 따라 적용적으로 평활화하기 때문에 영상의 경계를 잘 보존하면서도 모아레 패턴을 효과적으로 제거할 수 있음을 역 헤프톤닝 영상과 푸리에 스펙트럼을 통해 확인할 수 있다.

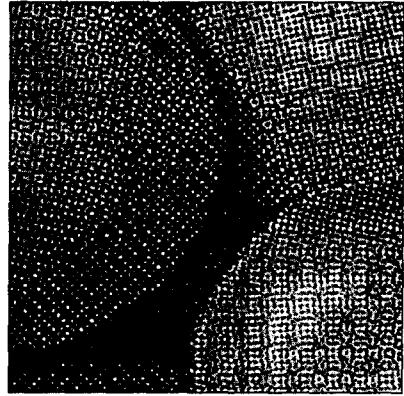


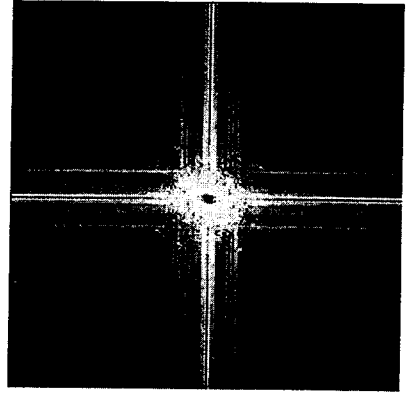
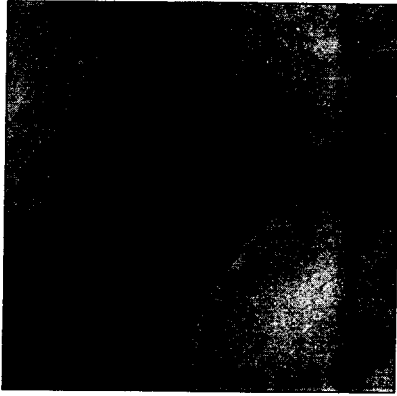
그림 4. 실험 영상

### 4. 결론

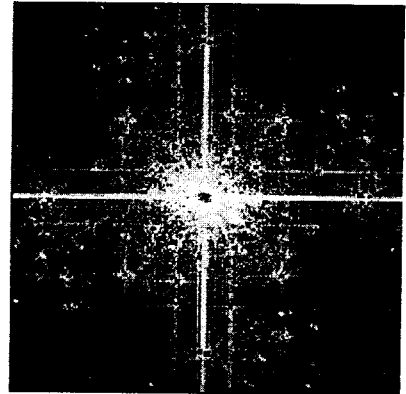
본 논문에서는 칼라 역 헤프톤닝에서 중요한 요소인 경계보존과 모아레 제거 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 적응적 평활화 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 영상을 블록단위로 분할 한 후, 각 블록의 특성을 활용하여 평활화함으로써 기존의 방법들이 해결하지 못한 문제들을 해결할 수 있었다.

실험을 통해 각 방법에 따른 역 헤프톤닝 결과 영상과 푸리에 스펙트럼, 경계영상을 비교 분석함으로써, 제안한 방법이 모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서도 경계부분을 보존할 수 있음을 확인하였다.

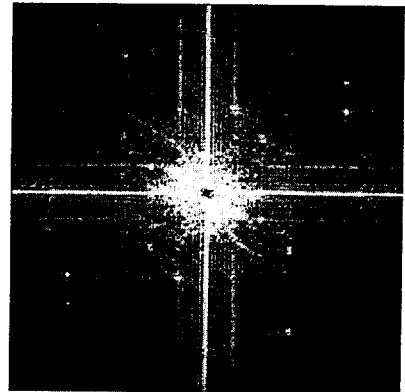
제안한 방법은, 헤프톤 영상의 압축, 칼라 픽시밀리, 전자 출판과 같이 다양한 멀티미디어 환경에 유용하게 활용할 수 있다. 차후에는 역 헤프톤닝된 칼라 영상에 대한 영상 개선 방법을 연구하여 보다 원시 영상에 근접한 결과 영상을 만들 수 있는 역 헤프톤닝 방법을 개발할 것이다.



(a) 가우시안 평활화 방법



(b) [5]에서 제안한 방법

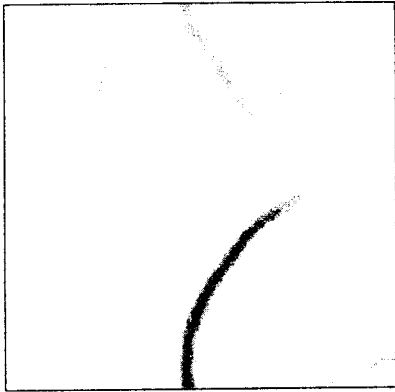


(c) 적응적 평활화 방법

그림 5. 역 해프토닝 영상과 C 채널 영상의 푸리에 스펙트럼

### 참고 문헌

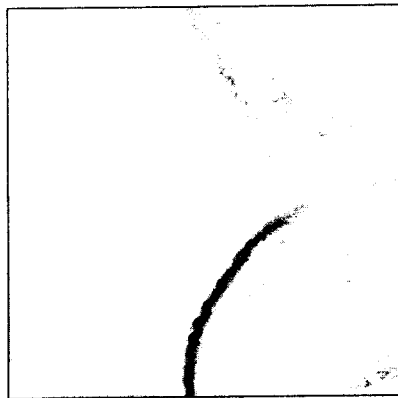
- [1] John C. Russ, "The Image Processing Handbook", 2nd Ed. CRC press, 1994
- [2] P. W. Wong, "Inverse Halftoning and kernel estimation for error diffusion," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 4, No. 4, pp. 486-498, 1995
- [3] Y. T. Kim and G. R. Arce, "Inverse ordered dithered halftoning using permutation filters," IEEE ICIP Vol. 2, pp. 1017-1021, 1994
- [4] Z. Xiong, M. T. Orchard and K. Ramchandran, "Inverse Halftoning Using Wavelets," Proc. ICIP'96, Lausanne, Switzerland, Sep. 1996
- [5] Jorgen Rydenius, "Inverse Halftoning of Scanned Colour Images," Master thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweden, 1997
- [6] 김종민, 김민환, "새로운 평활화 마스크를 이용한 칼라 역 헤프토닝," 한국멀티미디어학회 춘계학술 발표 논문집, pp. 148-153, 1998
- [7] Henry R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices," SPIE Optical Engineering Press, 1996



(a) 가우시안 평활화 방법



(b) [5]에서 제안한 방법



(c) 적응적 평활화 방법

그림 6. 역 헤프토닝 영상의 경계 영상