

칼라 역 헤프토닝에서 새로운 모아레 패턴 평활화 방법

한영미*, 김중민**, 김민환*

* 부산대학교 컴퓨터공학과

** 고신대학교 컴퓨터과학부

A New Smoothing Method for Moire Patterns in Color Inverse Halftoning

Young-Mi Han*, Jong-Min Kim**, Min-Hwan Kim*

* Dept. of Computer Engineering, Pusan Nat'l University

** Division of Computer Sciences, Kosin University

E-mail : ymhan@hyowon.pusan.ac.kr, jmkim@kosin.ac.kr, mhkim@hyowon.pusan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 헤프톤 패턴의 간섭현상으로 발생하는 모아레 패턴을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 모아레 패턴 평활화 방법을 제시한다. 제안한 방법에서는 모아레 패턴이 존재하는 영역에 대해서만 그 세기에 따라 평활화 정도를 적응적으로 조정해 주기 때문에, 모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서 경계나 텍스처 같은 의미있는 고주파 성분도 잘 보존할 수 있다. 또한 기존의 방법과 달리 푸리에 변환과 같은 추가 연산을 필요로 하지 않고 미리 만들어진 테이블을 참조하는 과정만으로 모아레 피크의 세기를 결정하기 때문에 연산 시간 측면에서도 효율적이다. 제안한 방법은 칼라 인쇄물을 다루는 다양한 멀티미디어 분야에서 유용하게 활용될 수 있다.

1. 서론

헤프토닝(Halftoning)은 연속계조(continuous-tone) 영상을 이진(binary) 영상으로 변환하는 것으로서 이진 표현만이 가능한 종이 인쇄 분야에서 주로 활용되고 있다 [1,2]. 스캐닝한 헤프톤 영상은 디지털 응용에 활용하기에는 많은 문제점이 있기 때문에, 헤프톤 영상을 연속계조 영상으로 변환할 필요가 있는데 이러한 과정을 역 헤프토닝(inverse halftoning)이라 한다[4].

역 헤프토닝 기술은 전자도서관에서와 같이 과거의 인쇄물 자료를 디지털 형태로 구축하여 효과적으로 관리해야 하는 분야, 칼라 인쇄물의 효율적인 저장·관리·검색이 필요한 분야, 기존 문서영상을 활용한 멀티미디어 저작 분야, 내용기반 영상검색 시스템 등 다양한 멀티미디어 응용에서 유용하게 활용될 수 있다. 또한 앞으로 영상 미디어에 대한 보다 효과적인 처리와 응용에 대한 필요성이 크게 증대하고 있기 때문에 향후 활용분야가 더욱 넓어질 전망이다.

역 헤프토닝은 저주파 필터링(low pass filtering)에

기초를 두고 있으며, 칼라 역 헤프토닝에서는 칼라 채널 별로 저주파 필터링을 적용해야 하기 때문에 스캐닝한 RGB 칼라 헤프톤 영상의 채널 분리가 필수적이다. 그런데 칼라 역 헤프토닝에서는 칼라 채널 분리를 통해 채널 영상을 완전히 복구할 수 없다는 근본적인 어려움이 있다[3]. 이로 인해 서로 다른 칼라 채널이 중첩 인쇄될 때 나타나는 모아레 패턴이 채널 분리 후에도 각 채널 영상에 남아있게 된다. 이러한 모아레 패턴은 헤프토닝 과정에서 발생한 부수 효과(side effect)이기 때문에 역 헤프토닝 과정에서 효과적으로 제거되어야 한다.

기존의 역 헤프토닝 방법들은 주로 흑백 영상을 대상으로 효율적인 고주파 성분 복구 문제를 다루고 있다 [4-6]. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 칼라 헤프톤 영상은 흑백 헤프톤 영상과 상이한 특성을 갖기 때문에 기존의 흑백 헤프톤 영상에 대한 방법을 칼라 역 헤프토닝에 적용하기 곤란하다. [7]에서는 칼라 채널 영상을 평활화하는데 있어서 기본적으로 흑백 헤프톤 영상의 평활화를 위해 개발된 평활화 마스크로 각 칼라 채널을 평활화하

기 때문에, 칼라 역 해프토닝에서 발생하는 근본적인 문제를 체계적으로 해결하지 못하고 있다.

한편 모아래 패턴을 효과적으로 제거하기 위해 [8]에서는 채널 영상을 블록단위로 분할 한 후, 각 블록을 푸리에 변환하여 모아래 피크의 존재여부를 판단하고, 피크가 존재할 경우 모아래 패턴을 제거하기 위한 추가 평활화를 시도하였다. 이 방법은 푸리에 변환을 통해 모아래 패턴의 존재 여부를 판단하기 때문에 많은 연산시간이 요구되는 문제가 있다.

본 논문에서는 일반적으로 대량 종이 인쇄에서 사용되고 있는 Clustered-dot 방법으로 해프톤된 칼라 인쇄물에 대해, 모아래 패턴의 발생 원인인 해프톤 패턴의 간섭현상을 분석함으로써 효과적으로 모아래 패턴을 제거할 수 있는 새로운 모아래 패턴 평활화 방법을 제시한다. 본 논문에서는 먼저 모아래 패턴 형성에 가장 큰 영향을 미치는 black 채널을 분리하고 이를 이용하여 다른 칼라 채널을 분리한 후, 각 채널을 평활화한 영상에서의 화소값으로부터 모아래 세기를 결정할 수 있는 방법을 개발하였다. 이와 같이 구한 모아래 피크의 세기에 따라 평활화 마스크의 크기를 적응적으로 조정하기 때문에 모아래 패턴을 효과적으로 제거하면서 의미있는 시각정보도 잘 보존할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모아래 특성을 분석하고, 3장에서는 새로운 모아래 평활화 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 실험을 통한 제안한 방법의 성능에 대해 기술하고 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대해 언급한다.

2. 모아래 특성 분석

2.1 주파수 공간에서의 특성 분석

모아래 패턴은 각기 다른 각도와 셀(cell) 크기로 해프토닝된 칼라 채널이 중첩 인쇄될 때 채널 간섭으로 인해 해프톤 영상에서 지역적으로 나타나는 현상이며, 특정 크기와 각도를 가지는 규칙적인 패턴이다. 이러한 특성으로 인해 채널 영상을 푸리에 변환하여 살펴보면, 모아래 패턴으로 인해 형성된 피크를 볼 수 있는데 이러한 피크를 모아래 피크[3]라 한다.

C, M, Y, K 칼라 채널이 중첩 인쇄될 때 나타날 수 있는 모아래 피크중, 1사분면에 나타나는 모아래 피크들을 그림 1에 나타내었다. 그림에서 피크 P_C , P_M , P_Y , P_K 는 각각 C, M, Y, K 채널에서의 해당 칼라로 인쇄된 해프톤 셀 패턴에 의한 피크이며, 이 피크를 각 채널에 대한 채널 피크라 한다. 모아래 피크는 채널 피크의 벡터합의 위치에 존재하며, 그림에서 모아래 피크 P_{CK} 는 피크 P_C 와 P_K 에 의해 형성된 것이다. 따라서, 주파수 공간에서 모아래 피크의 위치는 수학적 계산에 의해 구할 수 있다.

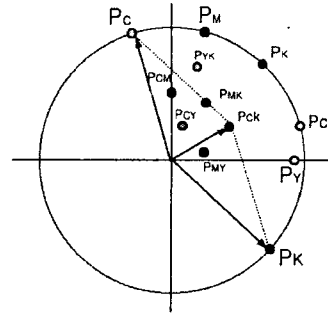


그림 1. 주파수 공간에서의 모아래 피크 해석

모아래 피크중 P_{CM} , P_{MK} , P_{CK} 는 원점에서 동일한 거리에 존재하며 P_{CY} , P_{MY} 는 원점에 매우 가까운 위치에 존재한다. 한편 P_{YK} 는 0도와 90도에 존재하는 채널 피크 P_Y 를 연결하는 직선 위에 존재한다. 모아래 피크 P_{CY} , P_{MY} 는 다른 모아래에 비해 시각적으로 덜 민감하고[9] 원점과 매우 가까운 저주파 영역에 존재하기 때문에 본 논문에서는 고려하지 않는다.

모아래 피크는 피크 P_C , P_M , P_K 와 원점이 형성하는 원의 내부에 존재하기 때문에 영역공간(spatial domain)에서 모아래 패턴은 해프톤 셀 패턴보다 큰 패턴이다. 따라서 이를 제거하기 위해서는 주파수 공간에서 절단 주파수(cut-off frequency)가 보다 원점에 가까운 즉, 상대적으로 큰 마스크를 사용해야 하는데, 채널 영상에 대해 이러한 평활화 마스크로 전역적인 평활화 과정을 수행하게 되면 의미있는 고주파 성분이 손실되는 문제가 발생하게 된다.

한편 칼라 해프톤 영상의 한 채널을 푸리에 변환하여 살펴보면 채널 피크의 정수배 되는 위치에 복합 피크(multiple peak)가 존재한다[7]. 크로스 마스크[3]를 이용하면 채널 피크와 복합 피크를 효과적으로 제거할 수는 있으나 채널 피크보다 원점에 더 가까운 곳에 위치하는 모아래 피크는 제거할 수 없다는 문제가 있다.

따라서 모아래 피크를 효과적으로 제거하면서 의미있는 고주파 성분을 효과적으로 보존하기 위해서는 모아래 패턴이 존재하는 영역에 대해서만 모아래 피크의 세기에 따라 마스크의 크기를 조절하면서 평활화할 필요가 있다.

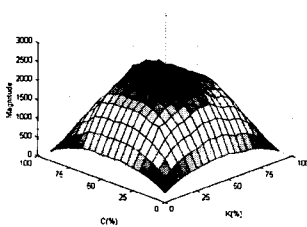
2.2 모아래 피크의 세기와 해프톤 도트 크기와의 상관관계 분석

해프토닝 과정에서 연속계조영상의 그레이 값에 비례하게 크기가 조정된 점(dot)을 해프톤 도트라 고 한다. 본 논문에서는 해프톤 도트의 크기와 모아래 피크 세기와의 상관관계를 분석하기 위해, 먼저 해프톤 도트의 크기를

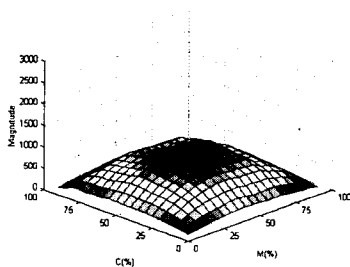
변화해 가면서 만든 두 칼라 채널을 중첩한 후, 각 경우에 대해 모아레 피크의 세기를 구하였다. 이때 주파수 공간에서 두 채널 피크의 위치를 알고 있으므로 모아레 피크에 대한 세기를 쉽게 구할 수 있다.

그림 2 (a)는 K 채널과 C 채널에서의 해프톤 도트 크기를 변화시키면서 이 두 채널이 중첩될 때 발생하는 P_{CK} 모아레 피크의 세기 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이, K와 C 해프톤 도트가 50% 크기에서는 매우 강한 모아레 피크가 형성됨을 알 수 있으며, 어느 한 값이 너무 높거나 낮은 경우는 모아레 피크의 세기가 낮은 것을 알 수 있다.

이때, 해프톤 도트의 크기는 해프톤닝되기 전의 화소 값에 개략적으로 비례하므로, 그림 2(a)는 C와 K 화소값의 변화에 따른 모아레 피크 P_{CK} 의 세기 변화로 볼 수 있다. 이와 같은 방법으로 모아레 피크 P_{MK} 와 P_{YK} 의 세기 변화를 구해보면, 그림 2(a)와 거의 같은 형태를 갖는다. 그러나 모아레 피크 P_{CM} 에 대한 그래프는 그림 2(b)와 같이, 형태는 (a)와 유사하나 그 세기가 상대적으로 작음을 알 수 있다. 이것은 K 채널이 모아레 패턴 생성에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 나타낸다. 본 논문에서는 이와 같은 방법으로 구한 모아레 피크 P_{CK} , P_{MK} , P_{YK} , P_{CM} 의 세기를 저장하고 있는 테이블을 각각 S_{CK} , S_{MK} , S_{YK} , S_{CM} 이라 한다.



(a) 모아레 피크 P_{CK} 세기 테이블(S_{CK})



(b) 모아레 피크 P_{CM} 세기 테이블(S_{CM})

그림 2. 해프톤 도트의 크기와 모아레 피크 세기와의 관계

이와 같이 모아레 피크의 세기는 K 칼라로 인쇄된

해프톤 패턴에 의해 가장 큰 영향을 받기 때문에, K 채널은 모아레 패턴의 존재 여부를 판단하는데 유용하게 활용될 수 있다.

3. 새로운 모아레 패턴 평활화 방법

3.1 K 칼라 채널 분리

스캐닝된 RGB 해프톤 영상으로부터 인쇄시 사용된 C, M, Y, K 채널 영상을 분리해내는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에, 일반적으로 식 (1)을 이용하여 C, M, Y 채널 영상으로 분리한다.

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

그런데 K 해프톤 패턴은 시각적으로 가장 두드러질 뿐만 아니라, 2장에서 언급한 바와 같이 다른 해프톤 패턴과의 간섭에 의한 모아레 피크도 가장 강하게 생성하기 때문에, K 채널 영상을 별도로 분리하는 방법을 사용하여 모아레 영역을 결정하는데 활용할 필요가 있다.

본 논문에서는 이와 같은 목적으로 분리된 채널을 K' 라고 표기한다. 식 (1)에 의하면, K 채널의 잉크 색상은 R, G, B 값이 모두 0이어야 한다. 그러나 실제 인위적으로 만든 K 채널만 해프톤닝하여 인쇄한 후, 다시 스캐닝하여 해프톤 도트를 구성하는 화소들의 R, G, B 값 분포를 살펴보면, 그림 3에서와 같이 클러스터가 형성됨을 알 수 있다. 이것은 K 잉크가 종이에 인쇄되고 스캐닝되면서 발생하는 칼라 왜곡 현상으로 인한 것이다. 본 논문에서는 이와 같은 실험을 통해 구한 클러스터의 중심값 0.25, 0.27, 0.29를 임계값으로 사용하여, 칼라 해프톤 영상에서 그 보다 작은 값을 가지는 모든 화소를 추출하여 K' 채널을 만든다.

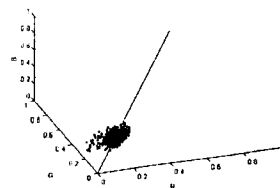


그림 3. 스캐닝한 K 분판 화소값 분포

K' 채널 영상을 만들기 위해 화소가 추출된 위치에는 RGB 값을 (1, 1, 1)로 변경한 후, 수식 (1)을 이용하여 채널을 분리하는데, 이렇게 분리된 채널을 본 논문에서는 R, G, B에 대해 각각 C' , M' , Y' 라고 한다.

스캐닝한 RGB 칼라 해프톤 영상으로부터 이와 같은 방법으로 분리한 C' , M' , Y' , K' 칼라 채널은 모아레피

크의 세기를 결정하기 위해서만 사용된다.

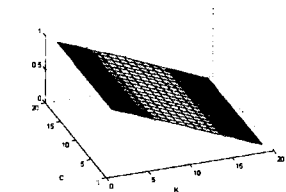
3.2 적응적 모아레 평활화 방법

모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서 의미있는 고주파 성분을 보존하기 위해서는 모아레 피크의 세기에 따라 평활화 정도를 조정해 주어야 한다.

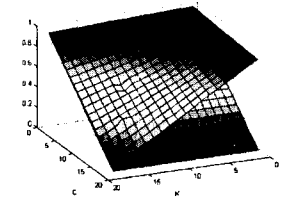
블록기반 모아레 평활화 방법[8]에서는, 영상에서의 작은 블록 단위로 푸리에 변환을 통해 모아레 피크의 세기를 측정함으로써, 모아레 패턴의 존재 여부를 판정하고 평활화 정도를 조절하는 방법을 제안하였다. 이때 푸리에 변환에 의한 스펙트럼에서 모아레 피크의 위치 및 세기를 실제로 측정이 가능하도록 하기 위해, 해당 블록과 그 주변영역을 포함한 보다 큰 영역에 대한 푸리에 변환을 하므로 매우 많은 연산을 해야 하는 부담이 있다.

본 논문에서는 이와 같은 추가 변환없이 평활화된 채널 영상에서의 화소값과 모아레 세기 테이블을 이용하여 모아레 피크의 세기를 결정할 수 있는 새로운 방법을 제시한다.

이를 위해 먼저 균일한 그레이 값을 갖는 K 채널과 C 채널을 만들고 이것을 각각 해프토닝하여 중첩한 후, 2.1절에서 설명한 방법으로 K' 채널을 다시 분리할 때, 복구된 K' 채널의 그레이 값과 C 채널과 중첩하기 이전의 K 채널 그레이 값의 변화를 분석하였다. 그림 4(a)에서와 같이 K 채널의 경우에는, 채널 분리로 복구된 그레이 값과 C 채널과 중첩하기 전의 그레이 값을 나타내는 두 평면이 거의 일치하여 하나로 나타나, K 채널은 다른 채널에 영향을 받지 않고 거의 정확하게 복구되는 것을 알 수 있다. 한편 K 채널과 C 채널을 이용하여 동일한 방법으로 실험하되 K 채널과 중첩되기 전의 C 채널의 그레이 값과 중첩 후 분리한 C' 채널의 그레이 값에 대한 변화를 그림 4(b)에 나타내었다. 그림에서와 같이 C 채널의 경우는 K 채널과 달리, 분리된 C' 채널의 그레이 값이 정확히 복구되지 않고 K 채널에 의해 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.



(a) K 채널영상의 밝기 변화



(b) C 채널영상의 밝기 변화

그림 4. 채널 분리에 의한 화소값 변화 비교

이와 같은 실험을 통해 어떤 칼라 채널이 채널 분리 과정에서 왜곡되는지를 분석할 수 있으며 또한 왜곡되기 전의 그레이 값도 추정할 수 있다. 따라서 이와 같이 추정된 그레이 값과 그림 2와 같은 모아레 피크 세기 테이블을 이용하면 특정 화소에서의 모아레 세기를 결정할 수 있다.

그림 5는 그림 4(b)를 이용하여 C' 채널로부터 K 채널과 중첩 인쇄되기 전의 C 채널의 그레이 값을 추정하는 방법을 나타내고 있다. K 채널의 경우, 복구가 거의 정확하게 이루어지므로 K 채널이 다른 채널과 중첩 인쇄되기 전의 그레이 값은 K' 채널로부터 손쉽게 유도할 수 있다.

먼저 C', M', Y', K' 채널 영상을 평활화하여 I_c' , I_m' , I_y' , I_k' 를 각각 만드는데, 이때 크로스 마스크[3]의 2배 크기되는 평활화 마스크를 사용하여 각 채널 영상에 존재하는 패턴을 제거함으로써 채널별 연속계조영상을 만든다. 이때 $I_k'(x,y)$ 의 그레이 값을 V_k 라 하면 K 채널은 복구가 정확하게 이루어지므로 이 값 V_k 에 의해 그림 5와 같이 하나의 열이 결정되게 된다. 이때 V_k 에 의해 결정된 열(column)에 있는 요소중에 $I_c'(x,y)$ 값과 가장 일치하는 세기를 갖는 행을 V_c 라고 하면, 이 V_c 는 중첩 인쇄되기 전의 C 채널의 값으로 간주할 수 있다. 이와 같이 $I_c'(x,y)$ 와 $I_k'(x,y)$ 로부터 구한 V_c , V_k 값과 그림 2(a)에서와 같은 모아레 피크 세기 테이블 S_{CK} 를 이용하면 C 채널 영상 (x,y) 에서 채널 C와 K에 의해 형성되는 모아레 피크 P_{CK} 의 세기 $s = S_{CK}(V_c, V_k)$ 를 추정할 수 있게 된다.

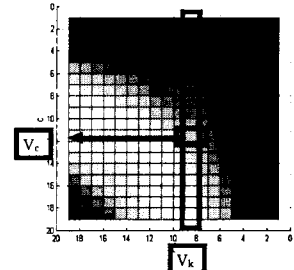


그림 5. C 채널의 그레이 값 추정 방법

이와 같이 평활화된 C', M', Y', K' 채널 영상의 화소값을 이용하여 중첩 인쇄되기 전의 C, M, Y, K 채널의 화소값을 추정하는 것이 가능하고, C, M, Y, K 채널의 화소값에 의해 형성될 수 있는 모아레 피크들에 대한 정보가 모아레 피크 테이블에 저장되어 있으므로, 채널 영상에서 각 화소에 대한 모아레 세기를 결정할 수 있다. 그림 6은 본 논문에서 제안한 적응적 모아레 평활화 방법을 이용하여 C 채널을 평활화하는 과정을 나타내고 있으며, M과 Y 채널도 이와 같은 단계를 거쳐 모아레 패턴을 평활화 한다.

/* C 채널 영상에서 C 채널과 K 채널, C 채널과 M 채널로 인해 형성된 모아레 패턴을 평활화 함 */

- (0) 모아레 세기 테이블 S_{CK} , S_{CM} 을 구한다.
- (1) $C=1-R$, $M=1-G$, $Y=1-B$ 을 이용하여 스캐닝한 RGB 영상에서 C, M, Y 채널을 분리한다.
- (2) 크로스 마스크로 C, M, Y 채널을 평활화하여 I_c , I_m , I_y 을 만든다.
- (3) RGB 영상에서 C', M', Y', K'를 분리한다.
- (4) 모아레 평활화 마스크로 C', M', Y', K' 채널 영상을 평활화하여 I_c' , I_m' , I_y' , I_k' 를 만든다.
- (5) /* I_k' 에서 K 값이 존재하는 경우, C와 K에 의해 형성된 모아레 패턴을 제거 */
 $I_k'(x,y)$ 의 값과 $I_c'(x,y)$ 의 값을 이용하여 $I_c(x,y)$ 에서의 모아레 피크 P_{CK} 세기 $s = S_{CK}(V_c, V_k)$ 를 구한다. s 에 비례하게 모아레 평활화 마스크의 크기 조정 후, $I_c(x,y)$ 를 평활화한다.

/* I_k' 에서 K 값이 없는 경우, C와 M에 의해 형성된 모아레 패턴을 제거 */
 $I_c'(x,y)$ 의 값과 $I_m'(x,y)$ 의 값을 이용하여 모아레 피크 P_{CM} 세기 $s = S_{CM}(V_c, V_m)$ 을 구한다. s 에 비례하게 모아레 평활화 마스크의 크기를 조정 후, $I_c(x,y)$, $I_m(x,y)$ 를 평활화 한다.

그림 6. C 채널에 대한 적응적 채널 평활화 방법

모아레 피크의 세기에 따라 모아레 평활화 마스크의 크기는, 그림 7과 같이 모아레 피크의 세기가 최대일 때 모아레 피크 P_{CK} 에서 영교차가 생기도록 조정한다. 피크의 세기가 최소일 때는 모아레 피크 P_{CK} 와 채널 피크 P_C 간의 거리의 2배가 되는 지점에 영교차가 발생하도록 마스크의 크기를 조정한다.

4. 실험 결과

본 실험에서는 칼라 인쇄물을 600dpi, 24bit 칼라로 스캐닝 하였으며 Windows 2000에서 Matlab(ver 5.3)으로 제안한 방법을 구현하여 성능을 테스트하였다.

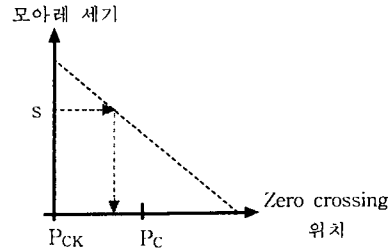


그림 7. 모아레 피크의 세기에 따른 평활화 마스크의 크기 조정

그림 9(a)는 실험에 사용된 칼라 헤프톤 영상이며, 그림 9(b)는 (a)를 크로스 마스크로 평활화하여 헤프톤 패턴을 제거한 결과의 일부이다. 그림에서 알 수 있듯이 자동차 문 영역에 존재하는 모아레 패턴은 아직 제거되지 않고 남아 있으며 K 패턴이 존재하는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법으로 모아레 패턴을 제거한 결과를 (c)에 나타내었는데, 크로스 마스크로 제거되지 않았던 모아레 패턴이 잘 제거되었음을 알 수 있다. 또한 제안한 방법은 모아레 패턴의 세기에 따라 평활화 마스크의 크기를 적응적으로 변화시키기 때문에 모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서도 경계성분과 같은 의미있는 시각정보를 잘 보존하고 있음을 알 수 있다.

제안한 방법의 모아레 패턴 평활화 효과와 경계보존 효과를 살펴보기 위해, 그림 9에서 모아레 패턴이 존재하는 영역(사각형 A)과 경계 영역(사각형 B)에 대해, 실험 영상과 각 결과 영상에 대한 그레이 값의 분포를 그림 10에 순서대로 나타내었다. 그림에서와 같이 모아레 패턴이 존재하는 A 영역은 본 논문에서 제안한 방법에 의해 아주 자연스럽게 평활화된 것을 알 수 있으며, 경계의 경우 그 형태가 잘 보존되면서 평활화된 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는, 채널 분리의 불완전함으로 인해 채널 분리 후 칼라 채널에 남아있는 모아레 패턴을 효과적으로 제거할 수 있는 새로운 모아레 평활화 방법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 지역적으로 존재하는 모아레 패턴에 대해 그 세기에 따라 평활화 정도를 조정해 주기 때문에, 모아레 패턴을 효과적으로 제거하면서 경계와 같은 의미 있는 시각 정보들도 잘 보존할 수 있다. 또한 화소의 그레이 값을 이용하여 모아레 세기 테이블을 참조하는 과정만으로 모아레 피크 세기를 판단하기 때문에 추가적인 계산시간을 필요로 하지 않다. 이때 사용된 모아레 세기 테이블은 다양한 입력 헤프톤 영상에 대해 계속 활용 가능하다. 제안된 칼라 역 헤프톤링 방법은 기존의 칼라 인쇄물이 활용되는 멀티미디어 응용분야에서 활용될 수 있다.



그림 9. 실험영상과 칼라 역 해프토닝 결과 영상

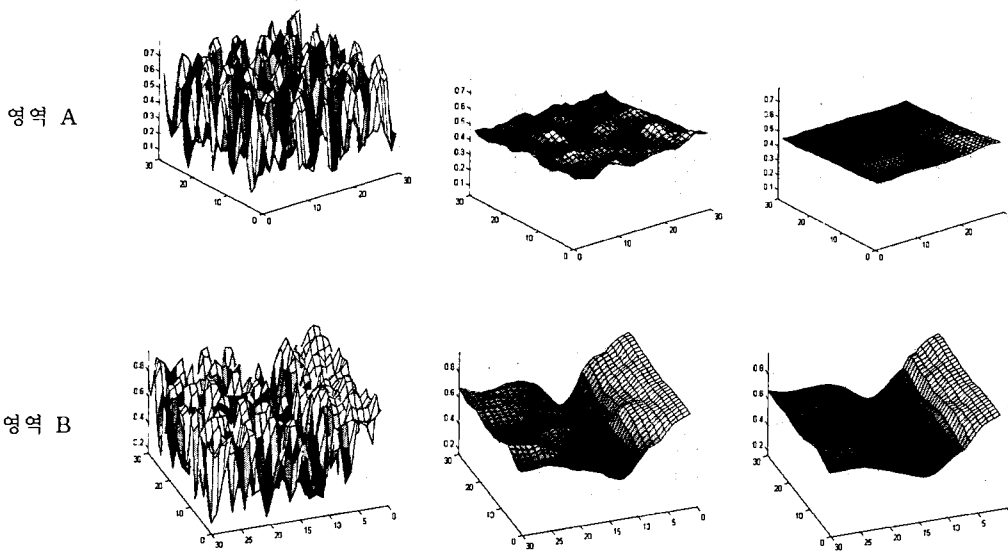


그림 10. 평활화 성능 비교

[참고문헌]

[1] Ulchiny, *Digital Halftoning*, MIT Press, U.S.A., 1990.

[2] H. R. Kang, *Digital Color Halftoning*, SPIE Optical Engineering Press, U.S.A., 1999.

[3] 김종민, 김민환, “칼라 역 해프토닝을 위한 새로운 평활화 마스크의 설계,” 한국 멀티미디어 학회 논문집, 제 1권, 제 2호, pp.183-193, 1998.

[4] C. M. Miceli and R. J. Parker, “Inverse Halftoning,” *J. Electronic Imaging*, Vol. 1, No. 2, pp. 143-151, April 1992.

[5] R. L. Stevenson, “Inverse Halftoning via MAP estimation,” *IEEE Trans. of Image Processing*, Vol. 6, No. 4, pp.574-583, 1995.

[6] Tsi-Yi Chao and Hsueh-Min Hang, “Inverse Halftoning of Scanned Images,” *Proc. IEEE Int'l Conf. on Image Processing*, pp. 420-423, 1995.

[7] J. Rydenius, “Inverse Halftoning of Scanned Colour Images,” *Master Thesis*, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweden, 1997.

[8] J. M. Kim, J. Y. Byun and M. H. Kim, “Color Inverse Halftoning Method for Scanned Color Images,” *Proceedings of SPIE*, Vol. 3963, pp.240-249, 2000.

[9] H. R. Kang, *Color Technology for Electronic Imaging Devices*, SPIE Optical Engineering Press, U.S.A., 1996.