

피크형태와 해프토닝 특성을 이용한 새로운 해프톤 셀 정보 추출 방법

한영미*, 김성영**, 김민환*

*부산대학교 컴퓨터공학과

**창원전문대학 멀티미디어과

A New Extraction Method of Halftone Cell Information using the Peak Shape and the Characteristics of Halftoning

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

*Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

**Dept. of Multimedia, ChangWon Junior Collage

요약

영상공간에서의 역 해프토닝 성능을 향상시키기 위해서는 정확한 해프톤 셀 정보를 기반으로 최적의 평활화 마스크가 생성되어야 한다. 이에 본 논문에서는, 푸리에 공간에서 피크형태와 영상공간에서의 해프토닝 특성을 이용해서 정확한 해프톤 셀 정보를 추출하는 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 차원분해(dimension decomposition)와 제한된 구간의 자동 탐색에 의해 정확한 해프톤 셀 정보를 효율적으로 추출하므로 역 해프토닝의 성능을 향상 시키며, 전체 영상에서 오차의 누적없이 셀 중심(seed pixel)을 정확하게 찾는 것을 실험을 통해 확인하였다. 정확한 해프톤 셀 정보는 셀 단위의 연산이나 해프톤 영상의 채널 분리 및 모아레 패턴의 존재 여부 판정 시 활용할 수 있다.

1. 서론

연속계조영상(continuous tone image)의 화소값을 이진화하여 처리하는 장치를 이용할 때, 0 또는 1로 이진화되는 화소 수를 조정해서 연속계조영상과 비슷한 시각적 효과를 얻는 방법을 해프토닝(halftoning)이라고 한다[1,2]. 해프토닝 과정을 거친 인쇄물을 멀티미디어 저작, 전자도서관, 영상데이터베이스 등과 같은 분야에 활용하기 위해서는 스캐닝

(scanning) 작업이 이루어져야 하는데, 인쇄시 해상도와 스캐닝시 해상도가 정수 비례관계가 아닌 경우 스캐닝된 해프톤 영상의 크기를 변환(resizing)하면 원하지 않는 패턴이 나타나는 왜곡이 발생한다. 또한 이진화된 해프톤 도트(halftone dot) 형태가 그대로 존재하기 때문에, 에지성분 추출이나 영역분할 등을 위한 기존의 영상처리 기법을 적용하기가 어렵다. 뿐만 아니라 해프토닝 과정에 포함되는 고주파

성분으로 인해 인접하는 화소간의 값 차이가 크고 화소값의 변화가 빈번하여, 이로 인한 압축을 저하 및 연속계조영상과 같은 양질의 영상을 서비스 할 수 없는 문제점들이 있다. 그러므로, 스캐닝된 해프톤 영상을 연속계조영상으로 역 변환하는 것이 필수적인데, 이 과정을 역 해프토닝(inverse halftoning)이라고 한다[3-5]. 스캐닝된 해프톤 영상에 대한 역 해프토닝 방법은 해프토닝된 방법에 따라 결정된다 [1,6-7]. 클러스터드 도트(clustered-dot) ordered-dither 방법으로 해프토닝된 경우, 해프톤 셀(cell)의 크기 및 각도를 추정해서 해프토닝 특성을 이용하므로[3,9-12] 보다 우수한 역 해프토닝 성능을 보이고 있다.

클러스터드 도트 방법으로 해프토닝된 인쇄물을 스캐닝한 해프톤 영상의 역 해프토닝 방법에서는, 푸리에 공간의 3, 4 상한에서 스펙트럼의 피크(peak) 좌표를 이용해서 영상공간의 해프톤 셀 크기, 각도 및 영상의 원점에서 첫 번째 해프톤 셀 중심까지의 거리인 오프셋(offset)을 구한다[3]. 이때, 푸리에 공간에서의 정확한 피크좌표는 영상공간에서 정확한 해프톤 셀 정보추출을 용이하게 하며, 푸리에 공간의 피크 성분을 완전히 제거할 수 있는 최적의 평활화 마스크를 만들 수 있다. 이에 따라, 역 해프토닝 결과영상의 질도 보다 향상시킬 수 있다.

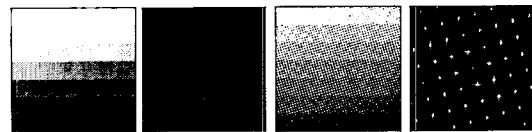
푸리에 공간에서 피크좌표를 추출하는 기존의 방법으로는 정수 피크좌표를 이용하는 방법[3], 평활화 마스크를 푸리에 변환한 후 영교차(zero crossing)가 해프톤 영상의 피크를 통과하도록 평활화 마스크의 크기를 조정하는 방법[9,10], 푸리에 공간에서 주 피크(base peak)의 상위차수(high order) 피크에 대한 정수 좌표를 이용하는 방법[3], 가우시안 보간법에 의한 실수 피크좌표를 이용하는 방법[3] 등이 있다. 그러나 이 방법들은 [13]에서 언급된 바와 같은 문제점이 있다.

이에, 본 논문에서는 푸리에 공간에서 피크 형태 모델링에 의해 오프셋을 결정하고, 피크를 포함하는 화소를 대상으로 피크가 존재할 제한된 영역을 추정하여 셀 크기 및 각도의 탐색 범위를 결정한 후, 영상공간에서 최적의 해프톤 셀 정보를 결정하는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은, 먼저 2장에서는 정확한 해프톤 셀 정보의 필요성에 대해 살펴보고, 3장에서 본 논문에서 제안하는 피크 형태 및 해프토닝 특성을 이용한 정확한 해프톤 셀 정보 추출 방법을 설명한다. 4장에서는 제안한 피크 모델링 방법

및 영상공간에서 자동탐색을 통한 정확한 해프톤 셀 정보 추출 방법의 타당성을 실험을 통해 분석하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

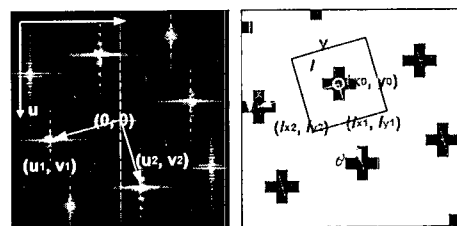
2. 정확한 해프톤 셀 정보의 필요성

해프톤 영상에 대한 푸리에 스펙트럼에는 해프톤 패턴에 의한 많은 고주파 성분이 포함되어 나타나며, 규칙적인 해프톤 패턴으로 인해 피크가 형성되어 나타난다. 그림 1(a),(b)는 그레이 값을 변화시키면서 49개의 블록으로 나타낸 연속계조영상과 푸리에 변환 결과이고, 그림 1(c),(d)는 포토샵 5.0을 이용하여 셀 크기 및 각도를 각각 7과 15°로 해서 해프토닝한 결과와 푸리에 변환 결과를 나타내고 있다. 그림 1(b)에서는 고주파 성분 값이 반복되는 블록 패턴과 영상경계에서의 불연속성으로 인해, 주로 수직 및 수평 좌표축에 나타나는 반면에, 그림 1(d)에서는 해프톤 패턴의 규칙적인 배열 및 해프톤 도트 경계에서의 불연속성으로 인해 고주파 성분 값이 주로 피크로 나타나는 해프토닝 특성이 있다.



(a) 연속 계조영상 푸리에 특성 (b) (a)의 푸리에 특성 (c) 해프톤 영상 (d) (c)의 푸리에 특성

그림 1. 연속계조영상 및 해프톤 영상의 푸리에 특성 비교

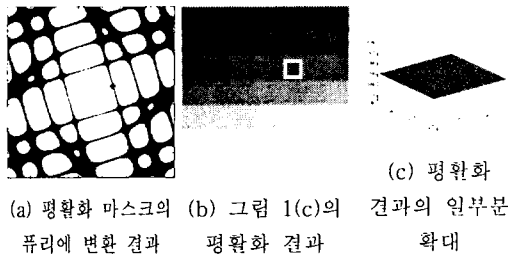


(a) 푸리에 공간 (b) 영상공간

그림 2. 스펙트럼 피크와 해프톤 셀 정보

그림 1(d)의 원점 부분을 확대한 그림 2(a)에서, 3상한 및 4상한의 주 피크(main peak)에 대한 각각의 좌표값 (u_1, v_1) , (u_2, v_2) 및 그 위치의 복소수 값을 이용하여, 해프톤 도트간의 위치 변화량 (l_{x1}, l_{y1}) 과 (l_{x2}, l_{y2}) , 해프톤 셀 크기, 각도 및 오프셋을 구할 수 있다[3].

영상공간에서 구한 해프톤 셀의 크기 및 각도와 동일한 모양의 마스크를 이용하면 매우 효과적인 평활화 결과를 얻을 수 있다. 이 마스크에 대한 푸리에 변환 결과는 그림 3(a)와 같이 sinc 함수로 나타나며, 해프톤 패턴에 의한 모든 피크들을 효과적으로 제거해 준다. 그림 3(b)는 그림 1(c)를 평활화 한 결과이며, 한 블록 부분을 일부 확대한 그림 3(c)에서와 같이 매우 효과적으로 평활화 해 준다.

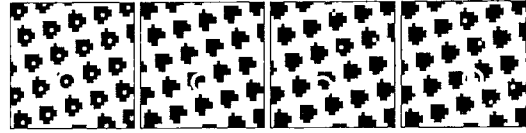


(a) 평활화 마스크의 푸리에 변환 결과 (b) 그림 1(c)의 평활화 결과 (c) 평활화 결과의 일부 확대

그림 3. 평활화 마스크에 의한 평활화 결과

흑백 해프톤 영상의 경우, 인쇄 및 스캐닝시 해프톤 패턴에 대한 왜곡이 다소 발생하지만, 정확한 해프톤 셀 크기 및 각도를 이용한 평활화 마스크로 역해프토닝을 하게 되면 해프토닝 이전의 연속계조영상에 근접한 영상으로 복원할 수 있다. 그러나 칼라 해프톤 영상의 경우, 중첩 인쇄에 의한 왜곡으로 인해 화소들이 오분류 되어 해프토닝시의 분판과 유사한 채널영상으로 분리되지 않아서 정확한 해프톤 셀 정보를 이용하더라도 역해프토닝을 위한 평활화 성능이 떨어지게 된다[3,10-12]. 그러므로, 칼라 해프톤 영상에 대한 역해프토닝 성능을 향상시키기 위해서는 채널영상이 분판에 가까운 형태로 분리되어야 한다. 이때, 오프셋까지 포함된 정확한 해프톤 셀 정보에 의한 해프톤 셀 중심을 이용하면 보다 정확한 채널영상 분리가 가능하다.

그림 4는 정확한 셀 정보와 부정확한 셀 정보를 이용했을 때의 해프톤 셀 중심을 표기한 것으로 보다 정확한 해프톤 셀 정보의 중요성을 명확히 알 수 있다. 표 1에서 해프톤 셀 중심 화소의 평균 밝기를 살펴보면, 정확한 해프톤 셀 정보를 이용했을 경우의 평균 밝기 값이 가장 작은 것을 알 수 있다. 이것은 해프토닝 과정에서 아무리 작은 해프톤 도트가 생성되더라도 해프톤 셀 중심에 해당하는 화소는 거의 대부분 인쇄되기 때문이다. 이러한 특성은 3장에서 정확한 해프톤 셀 정보를 탐색할 때 활용할 수 있다.



(a) 정확한 셀 정보 (b) 정수 피크좌표 (c) 부정확한 셀 크기 (d) 부정확한 셀 각도

그림 4. 해프톤 셀 정보에 따른 해프톤 셀 중심

표 1. 해프톤 셀 정보 및 중심 화소 평균 밝기값

셀정보 그림	셀정보 특성	셀크기	셀각도	오프셋		해프톤 셀 중심 평균 밝기값
				x0	y0	
그림 4(a)	정확한 셀 정보	7.280110	15.945396	0.0	1.3	0.0049
그림 4(b)	정수 피크좌표	7.321919	15.780753	0.0	1.3	0.0411
그림 4(c)	부정확한 셀 크기	9.321919	15.780753	0.0	1.3	0.5230
그림 4(d)	부정확한 셀 각도	7.321919	30.780753	0.0	1.3	0.5151

3. 제안한 방법

3.1 정확한 해프톤 셀 정보 판정 방법

정확한 해프톤 셀 정보에 대한 판정 기준으로 해프톤 셀 중심 화소의 평균 밝기 값을 이용한다. 이 값이 최소일 때, 후색 해프톤 도트를 기준으로 가장 정확한 해프톤 셀 중심을 찾은 것으로 판단하고 그때의 평균 밝기 값을 식 (1)과 같이 에너지로 정의한다[13]. 표 1에 의하면, 정확한 셀 크기일 때 가장 낮은 에너지를 가지므로 최소 에너지가 정확한 해프톤 셀 정보를 추정하기 위한 조건으로 타당함을 알 수 있다.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{k \in S} f(k), \quad 0 \leq E \leq 1 \quad (1)$$

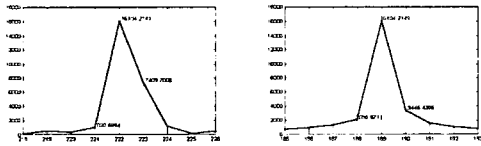
3.2 푸리에 공간의 피크 모델링

이산 푸리에 변환(Discrete Fourier Transform, DFT)을 통해 피크좌표를 구할 경우에, 피크좌표는 정수 단위로 얻게 된다. 따라서, 피크 위치에 대한 정확성은 식 (2)와 같은 관계식에 의해 영상공간에서의 샘플링 간격에 매우 좌우된다. 식 (2)에서 Δx 및 N 은 영상공간에서의 샘플링 간격 및 횟수이며, Δu 는 푸리에 공간에서 주파수 성분 간격을 나타낸다.

$$\Delta u = \frac{1}{N\Delta x} \quad (2)$$

여기에서, 피크 위치에 대한 정확성은 Δu 가 작을 경우에 높아지므로, N 을 증가시키거나 Δx 를 줄이면

보다 정확한 피크 위치에 대한 정보를 얻을 수 있다. 그러나, 주어진 해프톤 영상에 대해 해상도를 높여서 스캐닝 하더라도 Δu 를 줄일 수 없다. 스캐닝 해상도를 높여서 샘플링 횟수를 증가시키는 효과는 얻을 수 있으나, 해상도가 높아짐에 따라 Δx 가 그 비율만큼 작아지므로 주파수 성분 간격은 변함이 없게 되기 때문이다. 따라서, 다른 방법으로서 피크 주변의 분포 정보를 활용하는 방법이 있을 수 있다[3]. 예를 들어, 그림 5(a)에서와 같이 수직방향의 1차원 스펙트럼에서 정수 피크 위치(222)를 중심으로 주변의 값이 분포되어 있는 경우에, 오른쪽 위치(223)의 값이 왼쪽보다 크므로 보다 정확한 피크 위치는 오른쪽으로 어느 정도 이동함을 알 수 있다. 그러나 피크위치(222)를 벗어날 수 없으므로 피크 위치는 일정영역으로 제한될 수 있다.



(a) 수직방향의 피크 주변 (b) 수평방향의 피크 주변

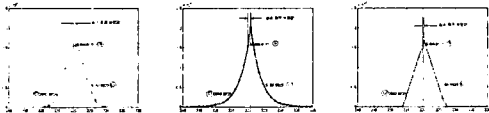
그림 5. 피크 위치 주변의 스펙트럼 분포

주파수 공간에서의 피크 주변 분포를 모델링 하여 보다 정확한 피크 위치를 추정하는 방법으로는 식 (3)과 같이 가우시안 함수로 모델링 하는 방법[3]이 있다(그림 6(a)). 본 연구에서는 식 (4),(5)과 같이 지수 함수(그림 6(b)) 및 직선 함수(그림 6(c))로 모델링 하는 방법을 제안한다.

$$g(u) = c e^{-d(u-p)^2} \quad (3)$$

$$e(u) = c e^{-d|u-p|} \quad (4)$$

$$f_1(u) = au + b_1 \quad f_2(u) = -au + b_2 \quad (5)$$



(a) 가우시안 함수 (b) 지수 함수 (c) 직선 함수

그림 6. 피크 모델링 방법 및 피크좌표 보정값

가우시안 함수 및 지수 함수로 모델링 하는 방법에서는 정수 피크 위치의 스펙트럼 값(㉗)과 좌우로

인접한 위치의 스펙트럼 값(㉘,㉙)을 이용해서 모델링 함수의 파라미터 c, d 를 결정할 수 있으며, 최대 값을 갖는 위치 p 를 보다 정확한 피크좌표로 추정한다. 직선 함수로 모델링 하는 경우에는, ㉚와 ㉛를 이용해 기울기 a 와 b_1 을 구하고, ㉜를 이용해 b_2 를 구한다. 피크좌표는 두 직선의 교차점으로부터 구할 수 있다. 지수 함수로 모델링 하는 경우에 피크좌표 p 를 구하기 위한 보정값 u_{corr} 은 다음과 같이 구할 수 있다. 여기에서, ㉗,㉘,㉙는 스펙트럼 값의 크기 순서로 나타낸 것이며, 이들의 위치를 각각 $i, i+1, i-1$ 로 표기한 것이다.

$$e(u) = c e^{-d|u-p|}$$

$$\ln e(u) = \ln c - d|u-p|$$

$$0 < u_{corr} = p - i < 1$$

$$\ln \textcircled{w} = \ln c - d|i-p| = \ln c - d u_{corr}$$

$$\ln \textcircled{x} = \ln c - d|-u_{corr}+1| = \ln c - d(-u_{corr}+1)$$

$$\ln \textcircled{y} = \ln c - d|-u_{corr}-1| = \ln c - d(u_{corr}+1)$$

$$q_{i2} = \ln \frac{\textcircled{w}}{\textcircled{x}} = d$$

$$q_{i1} = \ln \frac{\textcircled{w}}{\textcircled{y}} = d(-2d u_{corr} + 1)$$

$$q_{i2} - q_{i1} = 2d u_{corr}$$

$$u_{corr} = \frac{q_{i2} - q_{i1}}{2q_{i2}} = \ln \frac{\textcircled{x}}{\textcircled{y}} / \ln \frac{\textcircled{w}}{\textcircled{x}}$$

만약 ㉘와 ㉙의 위치가 좌우로 바뀐 경우에는, u_{corr} 의 부호를 바꾸어 주면 된다.

피크 모델링에 의한 피크좌표를 이용하여 오프셋 값을 먼저 추출하고, 그림 7과 같이 피크화소를 기준으로 피크영역을 추정해서 해프톤 셀 크기 및 각도에 대한 탐색영역을 결정하는 차원 분해 방법을 이용하면, x_0, y_0 , 셀 크기 및 각도의 값을 동시에 결정하는 4차원 탐색 보다 2차원 탐색 2회로 빠른 시간내에 최적값을 추출할 수 있다.

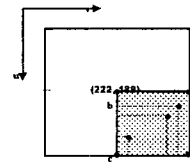


그림 7. 4상한 피크화소에서 피크 영역 추정

3.3 1차 탐색에 의한 해프톤 셀 정보 추출

3.3.1 해프톤 셀 오프셋 결정

오프셋 값을 구하기 위해서는 셀 크기 및 각도를 고정한 다음, 오프셋의 탐색 구간과 변화율을 먼저

결정해야 한다. 오프셋의 탐색 구간은 계산에 의해 구한 초기 오프셋 값부터 최대 셀 크기의 1/2까지로 한다. 오프셋의 변화율은 셀 크기, 각도 및 y 방향의 오프셋을 고정시킨 채, 초기 오프셋 값에서 x 방향의 오프셋을 0.1 씩 증가시키면서, 초기 오프셋 값에 의한 셀 중심의 위치보다 50%이상 차이 날 때를 x 방향의 오프셋 변화율로 결정한다. y 방향에 대한 오프셋의 변화율도 동일한 방법으로 결정한다. 이때 셀 크기 및 각도는 정수 피크좌표와 모델링에 의한 피크좌표로 계산된 4가지 셀 정보 중 최소 에너지가 되는 것으로 고정한다.

오프셋의 최적값을 찾는 첫째 단계는 오프셋의 변화율을 결정하기 위해 고정시킨 셀 크기 및 각도 값을 이용해서 최소 에너지 상태의 오프셋 값을 찾는 것이다. 그러나 셀 크기 및 각도가 최적값임을 보장할 수 없으므로, 이때의 오프셋 값을 최적값으로 결정할 수 없다. 따라서, 둘째 단계에서 오프셋 위치의 화소를 기준으로 8방향의 이웃 화소들을 후보 오프셋으로 보고 4가지 셀 정보를 이용해서 32 경우에 대한 에너지를 다시 구한다. 그 중 최소 에너지가 되는 후보 오프셋을 최적 오프셋으로 결정한다.

3.3.2 해프톤 셀 크기 및 각도 결정

오프셋과 동일한 방법으로, 해프톤 셀 크기 및 각도에 대한 탐색구간 및 변화율을 먼저 결정해야 한다. 추정된 피크영역을 이용해서, 그림 1(c)의 셀 크기 및 각도에 대한 탐색구간을 표 2에 나타내고 있다. 다음으로 셀 크기 및 각도에 대한 변화율을 결정하는데, 셀 각도를 최소 값으로 고정한 상태에서 셀 크기에 대한 탐색 구간의 차를 이등분 해나가면서 해프톤 셀 중심 위치의 변화를 추적한다. 이때 해프톤 셀 중심의 위치 변화가 전체 해프톤 셀 중심수의 10%가 넘지 않을 때를 셀 크기의 변화율로 결정한다. 셀 각도를 최대값으로 고정한 상태에서 같은 작업을 반복한 후, 두 개의 변화율 중 보다 작은 값을 셀 크기에 대한 변화율로 결정한다. 셀 각도에 대한 변화율도 동일한 방법으로 결정한다. 해프톤 셀 크기와 각도에 대한 탐색 구간 및 변화율이 결정되면 1차 탐색에 의해 에너지가 최소로 되는 해프톤 셀 크기 및 각도를 결정할 수 있다.

표 2. 해프톤 셀 정보의 탐색구간

	피크 좌표	셀 크기	셀 각도(°)
탐색 구간	a	7.3007	16.3522
	b	7.3219	15.7793
	c	7.2489	15.6188
	d	7.2284	16.1861

3.4 상세 탐색에 의한 해프톤 셀 정보 최적화

1차 탐색결과 구해진 해프톤 셀 정보는 탐색 구간을 일정 간격으로 등분해서 변화율을 정했기 때문에 최적의 셀 크기, 각도 및 오프셋을 반영하지 못할 수 있다. 따라서 구해진 셀 정보±변화율을 새로운 탐색구간으로 정하고, 변화율을 세분하여 상세 탐색을 하면 가장 최적의 해프톤 셀 정보를 얻을 수 있다.

4. 실험 및 토의

windows98 환경에서 MATLAB 5.3을 기반으로 시스템을 구현하였으며 칼라 인쇄물을 600dpi, 24bit 칼라로 스캐닝한 영상에서 Cyan 채널을 실험영상으로 이용 하였다.

인위적인 해프톤 영상과 달리 영상 공간에서의 정확한 해프톤 셀 정보는 알 수 없으나, 인위적인 해프톤 영상에 의해 피크위치 추정 및 해프톤 셀 정보 추출 방법의 타당성을 확인하였으므로, 동일한 방법을 이용해서 정확한 해프톤 셀 정보를 추출한다.

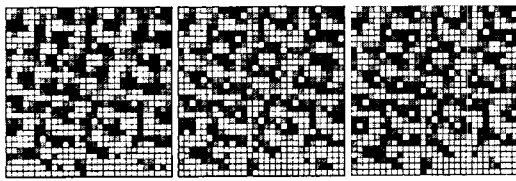
추출된 정보를 이용해서 해프톤 셀의 중심을 구하면, 전체영상에서 해프톤 도트 중앙에 해프톤 셀 중심이 위치하는 것을 알 수 있다. 그림 8(c)-(e)는 A 영역, (f)-(h)는 B 영역의 정수 피크좌표, 영상공간의 1차 탐색 및 상세 탐색을 이용한 경우에 대한 결과영상의 일부영역을 확대한 것으로 상세 탐색의 결과가 가장 정확하게 해프톤 셀 중심을 찾는다는 것을 확인할 수 있다. 표 3은 본 논문에서 제안하는 바와 같이 오프셋을 먼저 결정하고 셀 크기 및 각도를 결정하는 방법으로 차원을 분해했을 때 보다 효율적인 탐색이 되는 것을 보여주고 있다.

표 3. 차원분해 전후의 탐색횟수 비교

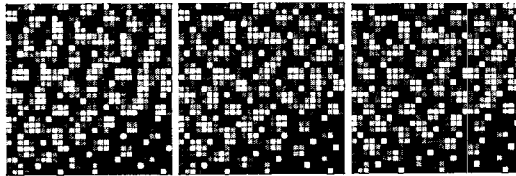
	탐색구간			변화율	탐색횟수		
		최소값	최대값		단일 차원	차원 분해전	차원 분해후
오프셋	x0	0.4764	2.1329	0.6	3	2448	216
	v0	0.2411	2.1329		4		
셀 크기		4.2374	4.2658	0.0016	17		
셀 각도		74.9085	75.0747	0.0136	12		



(a) 해프톤 영상 (b) C 채널영상



(c) 정수 피크 (d) 1차 탐색후 (e) 상세 탐색후



(f) 정수 피크 (g) 1차 탐색후 (h) 상세 탐색후

그림 8. 해프톤 셀 중심 추출 결과

5. 결론 및 향후 연구

이미 스캐닝된 영상은 해상도를 변환해도 주파수 성분의 간격이 변하지 않으므로, 푸리에 공간의 정수 피크좌표로는 정확한 피크위치를 구할 수 없다. 따라서 직선 함수, 가우시안 함수 및 지수 함수로 피크 형태를 모델링하고 그 때의 피크좌표 및 정수 피크좌표를 이용하여 오프셋을 결정하고, 피크 형태에 의해 제한된 영역을 기반으로 최적의 해프톤 셀 정보를 구하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서 제안한 방법으로 구한 정확한 해프톤 셀 정보는 역 해프토닝된 영상의 질을 개선시킬 뿐 아니라, 푸리에 공간의 피크좌표를 이용해서 일정한 모양으로 반복되는 텍스처 패턴을 찾는 응용에 활용할 수 있다. 향후 칼라 해프톤 영상의 채널분리 및 모아레 패턴의 존재 여부를 판정할 때, 정확한 해프톤 셀 정보를 이용하는 방법에 대해 연구하고자 한다.

참고문헌

[1] Ulrichy, "Digital Halftoning," MIT Press, 1990.

[2] J. C. Russ, "The Image Processing Handbook," 3rd Ed., CRC press, U.S.A., 1999.

[3] J. Rydenius, "Inverse Halftoning of Scanned Colour Images," Master Thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweder, 1997.

[4] Y. T. Kim and G. R. Arce, "Inverse ordered dithered halftoning using permutation filters," IEEE ICIP, Vol.2, pp.1017-1021, 1994.

[5] L. M. Chen and H. M. Hwang, "Inverse Halftoning for monochrome picture," IEEE ICIP, Vol.2 pp.1022-1026, 1994.

[6] Foley, vanDam, Feineis and Hughes, "Computer Graphics," Addison Wesley, 2nd Ed., 1990.

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

[8] H. R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices," SPIE Optical Engineering Press, 1996.

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

[10] 김종민, 김민환, "새로운 평활화 마스크를 이용한 칼라 역 해프토닝," 한국멀티미디어학회 추계 학술 발표 논문집, 제 1권, 제 1호, pp.148-153, 1998.

[11] 김종민, 김민환, "Clustered-dot 방법으로 해프톤된 인쇄물에 대한 칼라 역 해프토닝 방법," 한국멀티미디어 학회 논문집, 제 2권, 제 3호, pp.308-319, 1999.

[12] 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.

[13] 한영미, 변지윤, 김민환, "역 해프토닝을 위한 해프톤 셀 정보 추출 방법의 개선," 한국멀티미디어학회 추계 학술 발표 논문집, 제 3권, 제 1호, pp.184-189, 2000