

역 해프토닝을 위한 해프톤 셀 정보 추출 방법의 개선

한영미*, 변지윤*, 김민환*

*부산대학교 컴퓨터공학과

An Improved Calculation Method of Halftone Cell Information for Inverse Halftoning

Young-Mi Han*, Ji-Yun Byun*, Min-Hwan Kim*

*Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

역 해프토닝의 성능을 향상시키려면 최적의 평활화 마스크가 생성되어야 하고, 최적의 평활화 마스크를 생성하기 위해서는 정확한 해프톤 셀 정보가 구해져야 한다. 이에 본 논문에서는, 푸리에 공간에서 가우시안 보간법에 의해 구해진 피크위치를 이용해서 해프톤 셀 정보의 초기 값을 설정하고 spatial 공간에서 셀크기, 각도 및 offset을 미세 조정하면서, 반복연산(iteration)을 통한 해프톤 셀 정보 추출 방법을 제안한다. 제안한 방법으로 구한 해프톤 셀 정보를 이용하면 최적의 평활화 마스크를 만들 수 있으며, 영상의 원점에서 멀리 떨어져 오차가 많이 누적되는 부분에서도 해프톤 셀 중심(seed pixel)을 정확하게 구하는 것을 실험을 통해 확인하였다. 제안한 방법은 평활화 마스크를 만들기 위한 정보로 사용될 뿐만 아니라, 해프톤 셀 단위의 연산이나, 푸리에 공간의 피크 정보를 이용하여 텍스처 패턴을 찾는 분야 등에 유용하게 활용할 수 있다.

1. 서론

연속계조영상(continuous tone image)의 화소값을 이진화하여 처리하는 프린터와 같은 출력장치를 이용할 때, 이진화된 화소의 분포를 적절히 조정해서 연속계조영상과 비슷한 시각적 효과를 얻는 이진화 방법을 해프토닝(halftoning)이라고 한다[1]. 해프토닝된 인쇄물을 스캐닝해서 멀티미디어 저작, 전자도서관, 팩시밀리 등과 같은 분야에 그대로 활용하는데에는 많은 문제점이 있다. 영상의 크기 변환이나

에지성분 추출, 영역분할 등을 위해 기존의 영상처리 기법을 적용하기 어려운 점, 해프토닝 과정에 포함되는 고주파 성분으로 인해 인접하는 화소 값의 차이가 크기 때문에 압축율이 떨어지는 점 및 연속계조영상과 같은 양질의 영상을 서비스 할 수 없는 점 등이다. 그러므로, 스캐닝된 해프톤 영상은 연속계조영상으로 역변환하는 것이 필수적인데, 이 과정을 역해프토닝(inverse halftoning)이라고 한다[2-4]. 역해프토닝 방법은 스캐닝된 해프톤 영상의 해프톤

닝 방법에 종속적이다. error-diffusion 방법[5]의 해프톤 영상은 에러확산 커널(kernel)[6]을 추정해야 하며, ordered-dither 방법[7,8]의 해프톤 영상은 해프톤 셀의 크기 및 각도를 추정해서 역해프토닝 하는 것이 일반적인 방법이다. 본 논문에서는 ordered-dither 방법중 처리속도가 빠르고, 고립된 화소를 표현하기 어려운 인쇄장치에 주로 사용되는 클러스터드 도트(clustered-dot) 방법으로 해프토닝 된 인쇄물을 대상으로 한다.

클러스터드 도트 방법으로 해프토닝된 인쇄물을 스캐닝한 영상의 역해프토닝 방법은 퓨리에 공간에서 magnitude가 최고값이 되는 피크 위치를 이용한다. 퓨리에 공간의 1,4 사분면에서 찾은 피크 위치를 이용해서 해프톤 셀의 크기, 각도 및 영상의 원점에서 첫 번째 해프톤 셀까지의 거리인 offset을 계산한다[2]. 해프톤 셀의 크기 및 각도를 이용해서 평활화 마스크를 만들고, 평활화 마스크와 해프톤 영상의 컨볼루션(convolution)에 의해 역해프토닝을 하게 된다.

퓨리에 공간에서 정확한 피크 위치를 찾는다면 해프톤 셀 정보를 보다 정확하게 구할 수 있다. 그러면, 최적의 평활화 마스크를 만들 수 있어서 역해프토닝의 성능을 향상 시킬 수 있다.

피크 위치를 찾는 기존의 방법은 정수 피크 위치를 그대로 이용하는 방법, 평활화 마스크의 크기를 퓨리에 공간에서 조정하는 방법, 그리고 가우시안 보간법에 의해서 피크 위치를 실수로 나타내는 방법이 있다[2,9,10].

정수의 피크 위치를 이용해서 평활화 마스크를 만들면, 평활화 마스크를 퓨리에 변환했을 때, 마스크의 zero crossing이 피크 위치를 지나지 않아서, 피크를 정확하게 제거하지 못하므로 역해프토닝 후에도 해프톤 셀 패턴이 잔존하게 된다. 퓨리에 공간에서 평활화 마스크의 zero crossing이 피크 위치를 통과하도록 조정하는 방법도 셀 크기만 조정되었으므로 셀 각도에 대해서는 그 정확성을 보장할 수 없으며, 셀 각도가 변함에 따라서, 셀 크기 또한 변경될 수 있는 문제가 있다. 또 다른 방법인, 가우시안 보간법을 이용해서 구한 실수 피크 위치는 정확성이 다소 높지만, 그림 1에서 보이는 것과 같이 피크 주변 값의 분포가 항상 가우시안 분포를 따르는 것이 아니므로, 정확한 위치의 피크를 구할 수 없다. 또한 spatial 공간의 값으로 변환할 때 발생하는 절삭오차(truncation error)등으로 인해 정확한 셀 정보를 구할

수 없다. 평활화 과정은 작은 오차가 결과에 큰 영향을 미치지 않지만, 해프톤 셀에 대한 중심을 찾는 경우는 아주 작은 오차도 누적되므로 영상의 원점에서 먼 곳의 해프톤 셀 중심을 정확하게 추출하지 못한다.

따라서, 본 논문에서는 퓨리에 공간에서 가우시안 보간법을 이용해서 실수 피크 위치를 구하고, 그것에 의해 구해진 셀 정보를 초기값으로 설정한 후, spatial 공간에서 반복연산에 의해 정확한 해프톤 셀 크기, 각도 및 offset을 구하는 방법을 제안한다.

정확한 셀 정보에 의한 평활화 마스크는 퓨리에 공간에서 피크 성분을 정확하게 제거할 수 있어서 보다 개선된 역해프토닝 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 해프톤 셀 중심을 정확하게 찾을 수 있다.

2. 피크 위치를 이용한 해프톤 셀 정보 추출

2.1 해프톤 셀 크기 및 각도

퓨리에 공간의 피크 벡터와 spatial 공간의 해프톤 셀 벡터를 나타내면 그림 2의 (a), (b)와 같다. (u_1, v_1) , (u_2, v_2) 는 DC 성분을 원점으로 했을 때 퓨리에 공간의 피크 위치이며, (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 는 spatial 공간에서 인접하는 해프톤 셀간의 위치 변화량을 나타낸 것이다. 피크 벡터와 해프톤 셀 벡터는 식 (1),(2)의 관계식으로 나타낼 수 있다. 이것을 이용해서 해프톤 셀의 크기 및 각도를 구하는 방법은 식 (3),(4)와 같다. 이때의 H와 W는 영상의 높이 및 너비를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{u_1 v_2 - u_2 v_1} \begin{bmatrix} 0 & -W \\ H & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{u_1 v_2 - u_2 v_1} \begin{bmatrix} 0 & W \\ -H & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\theta \approx \text{atan}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \approx 90^\circ + \text{atan}\left(\frac{y_2}{x_2}\right) \quad (3)$$

$$l \approx \sqrt{(x_1^2 + y_1^2)} \approx \sqrt{(x_2^2 + y_2^2)} \quad (4)$$

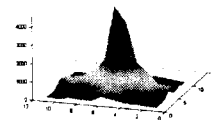
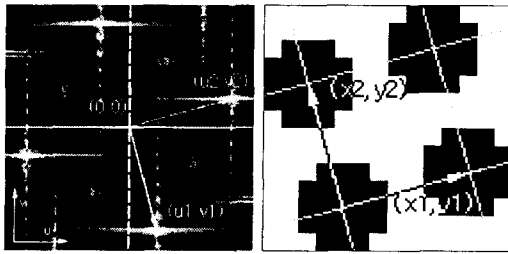


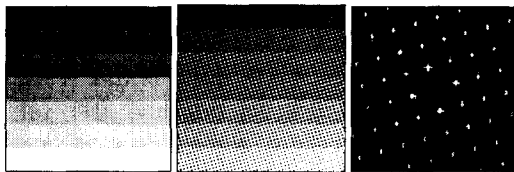
그림 1 퓨리에 공간에서 피크 주변 값의 분포



(a) 푸리에 공간 (b) spatial 공간

그림 2 해프톤 셀 정보

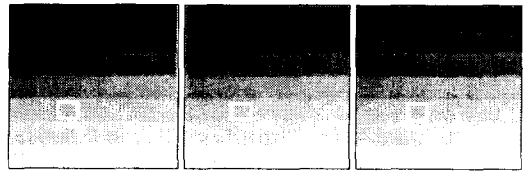
그림 3(a)는 그레이 값을 5씩 증가시키면서 모두 49단계로 나타낸 실험영상이고 포토샵을 이용하여 해프토닝한 결과 및 푸리에 변환 특성을 그림 3 (b),(c)에서 각각 보여주고 있다. 해프토닝시 설정된 해프톤 셀 크기, 각도 및 offset은 푸리에 공간에서의 피크위치와 연관되어 있음을 알 수 있다.



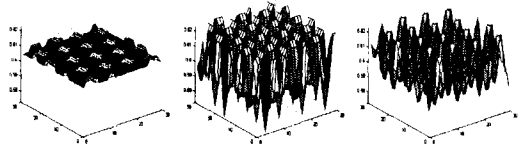
(a) (b) (c)

그림 3 해프토닝 및 푸리에 변환 결과

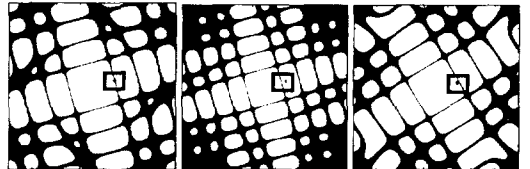
따라서, 푸리에 공간의 피크위치를 이용하면 해프톤 셀 정보를 구할 수 있다는 것을 위의 식(1)-(4)와 그림 3를 통해서 알 수 있다. 그런데, 푸리에 공간에서 피크위치가 부정확하면, 해프톤 셀 정보가 부정확하게 되고, 최적의 평활화 마스크가 만들어지지 않아서, 역 해프토닝 결과영상의 질을 저하시키는 요인이 된다. 그러므로, 푸리에 공간에서 피크위치를 정확하게 찾고, 해프톤 셀 크기 및 각도를 정확하게 구해서, 해프토닝 이전의 연속계조영상과 유사한 역해프토닝 영상이 되도록 해야 한다. 그림 4의 (a)-(c)는 그림 3(b)의 해프톤 영상을 이용해서, 표 1과 같이 정확한 셀 정보, 잘못된 셀 크기 및 잘못된 셀 각도로 각각 역해프토닝한 결과 영상이고, (d)-(f)는 역 해프토닝 후의 평활화 성능을 나타낸 것이다. (g)-(i)는 위의 각 경우에 대한 평활화 마스크의 푸리에 특성 및 해프톤 영상의 피크위치와의 관계를 보여 주고 있다. 해프톤 셀 정보가 정확할 때 평활화 성능이 가장 좋은 것을 알 수 있다.



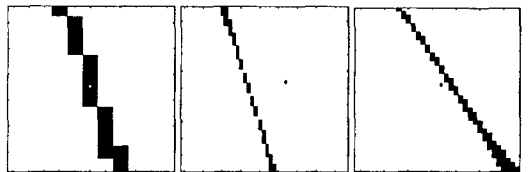
(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



(g) (h) (i)



(j) (k) (l)

그림 4 해프톤 셀정보에 따른 역 해프토닝 결과

표 1 역 해프토닝시 사용한 셀 정보

그림	셀 크기	셀 각도
(a)	7.3098	15.6465
(b)	9.3098	15.6465
(c)	7.3098	30.6465

2.2 해프톤 셀의 offset

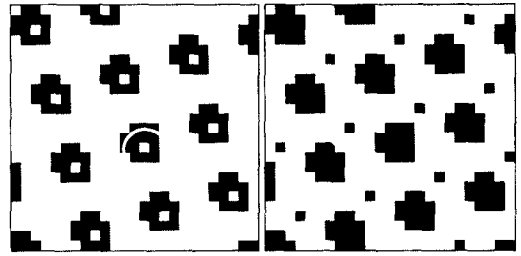
평활화 마스크는 해프톤 셀 크기 및 각도에 의해서만 결정 되지만, 해프톤 셀 단위의 연산을 위해 해프톤 셀의 중심을 찾을 경우 해프톤 셀의 크기 및 각도뿐 아니라 영상의 원점에서 첫 번째 해프톤 셀의 중심까지의 거리인 offset도 정확해야 한다. 특히,

칼라 역 해프톤닝의 경우 각 채널영상을 정확하게 분리하기 위해 해프톤 셀 단위의 연산이 필요하다. 해프톤 셀에 대한 정보가 정확한 경우와 그렇지 못한 경우에 해프톤의 중심을 찾은 결과를 비교해 보면 정확한 정보가 필요한 이유를 보다 명확하게 알 수 있다. 그림 5는 정확한 셀 정보를 이용했을 때와 부정확한 offset, 셀 크기 및 셀 각도를 이용 했을 때를 각각 비교 한 것으로 (e)는 정확한 셀정보를 이용한 것이고 (f)는 offset이 작아서 중심이 좌측 위쪽으로 이동되었으며, (g)는 셀크기의 오차 누적 으로 인해 (e)에 비해 위쪽으로 이동되었음을 알 수 있다. (h)는 셀 각도의 누적으로 인해 중심이 이동 된 것이다. 이와 같이 해프톤 셀 정보에 포함된 미세한 오차가 해프톤 셀의 중심을 구하는데 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

식 (5)는 해프톤 셀의 중심을 계산하는 식으로 x_0, y_0 는 offset이다.

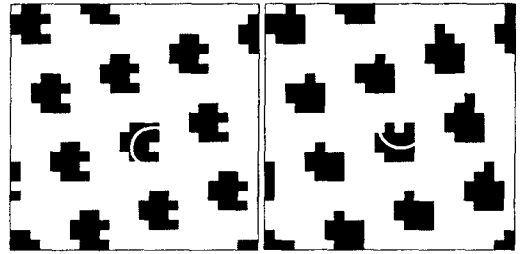
$$\begin{bmatrix} x_{cb} \\ y_{cb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + (k + \frac{1}{2}) \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + (l + \frac{1}{2}) \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 값은 해프톤 셀 크기 및 각도를 이용해서 해프톤 셀 단위로 분리할 때 기준점이 된다.



(e) 영역 1

(f) 영역 2



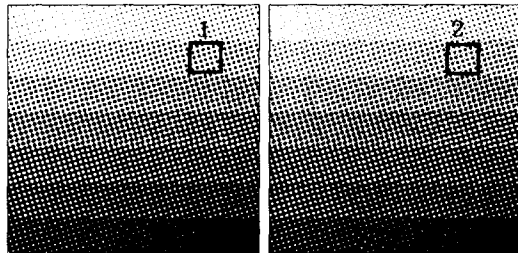
(g) 영역 3

(h) 영역 4

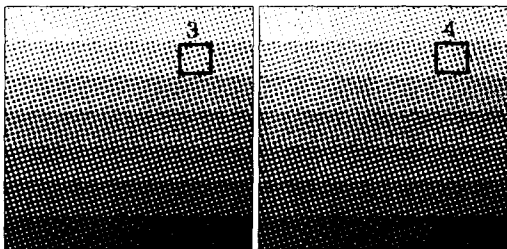
그림 5 해프톤 셀 중심

표 2 해프톤 셀의 중심에 대한 에너지

셀정보 그림	셀크기	셀각도	offset		에너지
			x_0	y_0	
그림 4(a)	7.3098	15.6465	3	6	0.0258
그림 4(b)	7.3098	15.6465	1	1	0.7471
그림 4(c)	7.2958	15.6465	3	6	0.0760
그림 4(d)	7.3098	18.4655	3	6	0.5039



(a) 셀 정보가 정확한 경우 (b) offset이 틀린 경우



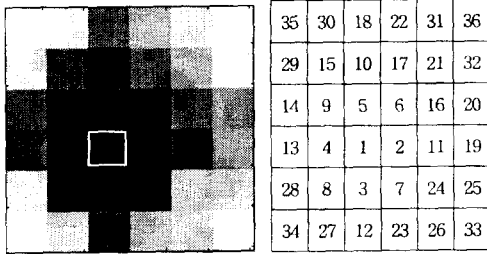
(c) 셀 크기가 틀린 경우 (d) 셀 각도가 틀린 경우

해프톤 셀 영상의 offset을 구하는 방법은 식 (6)과 같다. 이것도 spatial 공간에서 셀 크기 및 각도와 함께 반복연산을 통해 정확한 값을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \frac{-\arg F(u_1, v_1)}{2\pi} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} + \frac{-\arg F(u_2, v_2)}{2\pi} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. 제안한 해프톤 셀 정보 추출 방법

푸리에 공간에서의 피크위치만을 이용해서는



(a) 해프톤 스크린의 그레이 분포 (b) 해프톤 스크린의 인쇄 순서

그림 6 해프톤 스크린의 예

spatial 공간에서의 해프톤 셀 크기 및 각도를 정확하게 구할 수 없는 한계를 가지고 있다. 그러므로 푸리에 공간의 실수 피크 위치를 이용해서 구한 셀 정보를 초기값으로 하고, spatial 공간에서 셀 정보에 해당하는 크기, 각도, 및 offset을 미세 조정해서 정확한 해프톤 셀 정보를 얻는다. 그림 6(a)는 클러스터드 도트 방식에 이용되는, 해프톤 셀 크기가 5이고, 셀 각도가 0° 인 해프톤 스크린의 그레이 값 분포를 나타내고 있다. 화소의 그레이 값이 스크린의 그레이 값보다 낮은 곳을 인쇄 하게 된다. (b)는 그레이 값의 순서를 나타낸 것으로 가장 먼저 인쇄 되는 곳이 바로 해프톤 셀 중심이 된다. 그림 3(b)의 실험 영상과 같이 그레이 값이 다양한 값을 가지는 영상의 경우에도 해프톤의 중심을 정확하게 찾는다 면 평균 밝기인 에너지는 최소값이 된다. 이 때 정확한 셀 정보에 대한 판정 기준으로 이용하는 에너지 E는 해프톤 셀 중심으로 결정된 위치에 있는 화소값의 평균으로 정의하고 식 (7)과 같이 나타낸다. 해프톤 셀 중심의 개수를 N, 해프톤 셀 중심의 위치를 p_i , 그 위치의 그레이 값을 $f(p_i)$ 라 한다.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{p_i \in S} f(p_i) \quad (7)$$

offset에 대한 반복연산의 범위는 정수의 셀 크기로 하고, offset이 화소 단위로 결정되므로 증분은 1로 한다. 셀 크기에 대한 반복연산의 범위는 가우시안 보간법에 의해서 구해진 값에서 ±0.3으로 하고 그때의 증분은 0.01 이며, 셀 각도의 경우는 ±2° 로 하고, 증분은 0.0057° (radian으로 0.0001임)로 한다.

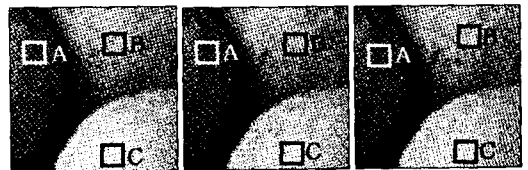
4. 실험 및 토의

본 실험에 이용한 실험영상은 칼라 인쇄물을 600dpi, 24bit 칼라로 스캐닝한 영상에서 Cyan 채널이다. 표 4는 spatial 공간에서 조정된 해프톤 셀 정보, 정수의 피크 위치를 이용한 해프톤 셀 정보 및 가우시안 보간법에 의해 구한 실수의 피크 위치를 이용한 해프톤 셀 정보를 각각 보이고 있으며, 그림 7은 각 경우의 해프톤 셀 정보를 이용해서 해프톤 셀의 중심을 구한 결과 영상으로 최적의 해프톤 셀 정보를 이용했을 때 C 영역과 같이 누적되는 오차가 많은 영역에도 해프톤 셀 중심 위치가 정확하게 구해지는 것을 알 수 있다. 그림 8은 셀 크기 및 각도를 미세 조정할 때, 에너지 변화를 보이고 있다. 셀 각도에 비해서 셀 크기의 증분이 크므로, 셀 크기가 변하는 부분에서 에너지가 급격하게 변하는 것을 확인할 수 있다.

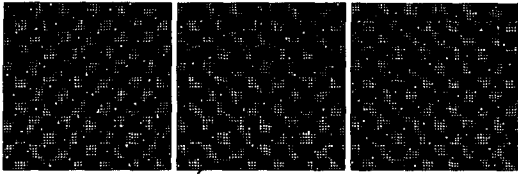
셀 크기 및 각도의 작은 변화에 대해서도 에너지 차이가 크기 때문에 증분을 미세 조정하면서 에너지가 최소가 될 때까지 실행해야 한다. 이로 인해 반복 연산의 횟수가 많으며, 해프톤 셀의 중심 화소 영상 전체에서 모두 찾아서 에너지를 구하기 때문에 한번 반복 시간도 길다. 따라서, 연산 속도를 개선하는 것이 해결해야 할 문제점이다.

spatial 공간에서의 반복연산으로 인한 실행 시간의 부담을 줄이기 위해서는 반복연산의 방법을 개선해야 한다. 따라서, 반복 연산을 위한 셀 크기, 각도 및 offset 값의 범위 및 증분을 반복 연산의 횟수가 증가함에 따라 보다 작은 값으로 조정하는 방법을 적용하도록 한다.

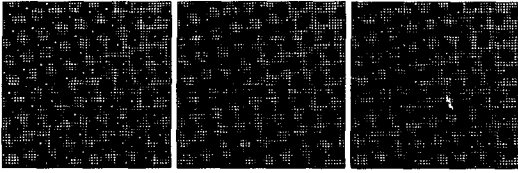
또 다른 방법으로는 spatial 공간에서 반복연산을 이용하지 않고 푸리에 공간에서 보다 정밀한 값의 피크 위치를 구하는 방법이다. 해상도가 높아지면, 푸리에 공간에서의 주파수 성분에 대한 간격이 좁아져서 보다 정확한 피크 위치를 구할 수 있을 것이다.



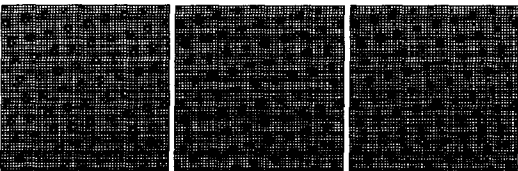
(a) 반복연산 (b) 정수피크 (c) 실수피크



(d) 반복연산 A (e) 정수피크 A (f) 실수피크 A



(g) 반복연산 B (h) 정수피크 B (i) 실수피크 B



(j) 반복연산 C (k) 정수피크 B (l) 실수피크 C

그림 7 해프톤 셀 정보 오차에 따른 셀 중심 비교

표 4 피크위치에 따른 해프톤 셀 정보 비교

	셀크기	셀각도	offset		에너지
			x0	y0	
반복연산	6.8534	14.3382°	0	6	0.2574
정수피크	6.7748	14.5742°	0	1	0.4682
실수피크	6.8134	14.2236°	0	1	0.4180

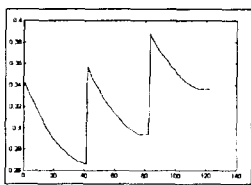


그림 8 반복연산에 의한 에너지 변화

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 디지털 값으로 표현된 푸리에 공간에서는 정확한 피크위치를 구할 수 없으므로, 실수

피크위치를 이용해서 해프톤 셀의 크기, 각도 및 offset에 대한 근사값을 구한 다음, spatial 공간에서 그 값을 초기값으로 반복연산 하면 해프톤 셀 정보를 정확하게 구할 수 있다는 것을 실험을 통해 확인하였다. 또 주어진 영상을 고해상도로 변환하면 푸리에 공간에서 주파수 간격이 세밀해져서 보다 정확한 해프톤 셀 정보를 추출할 수 있는 방법도 제안하였다.

정확한 해프톤 셀 정보에 의해, 최적의 평활화 마스크를 만들 수 있으며, 해프톤셀의 중심을 정확하게 찾는 것을 실험을 통하여 확인하였다. 제안한 방법은, 역해프토닝뿐만 아니라 푸리에 공간의 피크값을 이용해서 텍스처 패턴을 찾는 응용 등에 이용할 수 있다. 향후 연산속도를 개선할 수 있는 방법 및 칼라 해프톤 영상의 채널분리 과정에 해프톤 셀의 중심을 이용하는 방법에 대해 연구 하고자 한다.

참고문헌

- [1] J. C. Russ, "The Image Processing Handbook," 3rd Ed., CRC press, 1999
- [2] J. Rydenius, "Inverse Halftoning of Scanned Colour Images," Master Thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweden, 1997
- [3] Y. T. Kim and G. R. Arce, "Inverse ordered dithered halftoning using permutation filters," IEEE ICIP, Vol.2, pp.1017-1021, 1994
- [4] L. M. Chen and H. M. Hang, "Inverse Halftoning for monochrome picture," IEEE ICIP, Vol.2 pp.1022-1026, 1994
- [5] Foley, vanDam, Feine, Hughes, "Computer Graphics," Addison Wesley, 2nd Ed., 1990
- [6] R. L. Stevenson, "Inverse Halftoning via MAP estimation," IEEE Trans. of Image Processing, Vol. 6, No. 4, pp.574-583, 1995
- [7] Ulchiny, "Digital Halftoning," MIT Press, 1990
- [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 춘계 학술 발표 논문집, pp.148-153, 1998