

LMS 적응 필터링 알고리즘과 에지맵을 이용한 역하프토닝

정회원 고기영*, 박철우**, 조재현***

Inverse halftoning Using LMS Adaptive Filtering Algorithm and Edge map

Ki-Young Ko*, Chul-Woo Park**, Jae-Hyun Cho*** *Regular Members*

요 약

디지털 하프토닝이란 연속 계조 영상을 이진 출력장치에 나타내기 위하여 이진 영상으로 변환하는 기법이다. 하프톤된 영상(이진 영상)을 원영상에 가까운 영상으로 변환하는 기법을 역하프토닝이라한다. 이진 영상을 연속 계조 영상으로 변환하는 가장 간단한 방법은 저주파 대역 필터를 통과시켜 이진 패턴을 없애주는 것이다. 그러나 저주파 대역 필터를 처리할 경우, 원영상이 가지고 있던 에지영역을 블러링시키는 단점이 있다. 본 논문에서는 하프톤 영상을 LMS 적응 필터를 통해서 얻은 영상에 대해서 에지맵을 구성하여 블러링된 에지부분을 강조하는 방법을 제안하였다. 실험 결과 제안된 방법을 적용하였을 경우, 기존의 방법보다 PSNR이나 주관적인 화질면에서 우수한 복원 영상을 얻을 수 있었다. 또한 에지부분이 블러링되는 단점을 극복할 수 있었다.

ABSTRACT

Digital Halftoning convert a continuous-tone images to a binary images. Inverse halftoning addresses the problem of recovering a continuous image from a halftoned binary image. Simple low pass filtering can remove the high frequency noise but it also removes the edge information. Thus the edge information should be separated from the halftoning noise. As a result, the edge of result image is blurring. This paper present that we obtain continuous-tone-image which using LMS adaptive filtering algorithm. This image discover the optimal filter weights. To reduce noise without blurring the edges of reconstructed image use edge map. Simulation results show that proposed method gives a higher PSNR and better subjective quality than conventional methods. As a result, the edge information of reconstructed image reduce blurring.

1. 서 론

디지털 하프토닝(halftoning)^{[1][2]}이란 두가지색으로만 이루어진 출력기에서 연속계조영상을 출력하기 위해서 이진영상으로 변환하는 기법이다.

하프톤된 영상(이진 영상)을 원영상에 가까운 영상으로 변환하는 기법을 역하프토닝이라한다. 이진 영상은 대부분 제한적인 출력 장치에 대응하기

위해 변환하여 만든 것이므로, 시각적으로 원 영상에 비해 질이 떨어진다. 이진 영상은 원 영상이 가지고 있던 정보를 상당 부분 잃어버린 상태이므로 이진영상을 정확하게 원 영상으로 변환하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 연속 계조 영상을 영상처리 기법의 대상으로 삼고 있는 대부분의 영상처리 기법을 이진 영상에 적용하는데는 적합하지 않다. 그러므로 인간의 시각적인 특성을 고려하여, 최대한 원

* 동부산대학 정보통신과 강사

** 동부산대학 정보통신과

*** 지산대학 정보처리과

논문번호 : 99005-0318, 접수일자 : 1999년 3월 18일

영상에 가깝게 느낄 수 있는 영상을 만들어 내는 변환기법이 필요하다.

이진 영상을 연속 계조 영상으로 변환하는 가장 간단한 방법은 저주파 대역 필터를 통과시켜 이진 패턴을 없애주는 것이다. 그러나 이러한 방법은 원래 영상이 가지고 있던 에지 영역을 블러링(blurring)시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 에지를 잘 표현해 주도록 하는 방법들이 제안되어 왔다.^{[4][5][9]}

본 논문에서는 이진영상에 LMS 알고리즘을 적용하여 최적의 필터계수값을 찾아 필터링하여 연속계조 영상을 얻은 후, 에지맵을 사용하여 블러링된 에지의 부분을 강조하는 방법을 연구 검토하였다. 실험 결과, 기존의 가우시안 필터를 이용한 경우보다 블러링이 덜 나타나고 시각적으로도 우수한 영상을 얻을 수 있었다.

II. 디지털 하프토닝 방법

디지털 하프토닝이란 신문의 사진을 보면 잘 알 수 있는데 멀리서 보면 그레이 영상 같지만 자세히 보면 어두운 부분은 까만점들이 많이 모여 있고 밝은 부분은 까만 점들이 산재해서 있음으로써 명암도의 차이가 나는 것 처럼하는 기술이다.

2.1 순차적 하프토닝

순차적 하프토닝이란 고정된 임계치를 갖는 임계행렬을 반복적으로 사용하는 기법이다. 4×4, 또는 8×8 dot 마스크를 임계값으로 하여 2진 코드를 발생한다. 2진 코드 발생의 예는 아래와 같이 임계 마스크를 이용한다.

112	94	33	142
109	56	212	

0	128
192	64

1	0	1	1
0	0	1	

영상 그레이 값 임계 마스크 2진 코드값

첫행 첫열의 자료값 112를 임계값 0과 비교하여 임계값보다 크므로 2진 코드 값이 1이된다. 다음 94는 임계값 128과 비교하여 작기 때문에 2진 코드 값은 0이 된다. 다음의 33은 임계 마스크의 0과 비교하여 같은 방법으로 계속 진행한다.

본 논문에서 사용된 8×8 디더링 마스크와 4×4 디더링 마스크는 Table 1.에 보여주고 있다.

표 1. dither mask

0	128	32	160	8	136	40	168
192	64	224	96	200	72	232	104
48	176	16	144	56	184	24	152
240	112	208	80	248	120	216	88
12	140	44	172	4	132	36	164
204	76	236	108	196	68	228	100
60	188	28	156	52	180	20	148
252	124	220	92	244	116	212	84

(a) dispersed dither mask

4	44	76	140	136	56	24	12
20	84	116	196	168	104	88	36
52	100	180	228	216	184	120	68
132	164	212	244	248	232	200	148
144	204	236	252	240	208	160	128
64	124	188	220	224	176	96	48
32	92	108	172	192	112	80	16
8	28	60	156	152	72	40	0

(b) clustered dither mask

24	184	104	56
88	216	248	152
136	232	200	72
40	120	168	8

8	136	40	168
200	72	232	104
56	184	24	152
248	120	216	88

(c) 4×4 clustered and dispersed dither mask

2.2 오차 확산 하프토닝

순차적 하프토닝(ordered)방법을 사용하면 아주 빠르게 디더링을 할 수는 있지만 디더패턴이 연속적으로 발생하는 것을 막을 수는 없다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법이 오차확산방법이다. 오차확산 디더링 방법은 실제 밝기 값을 나타내지 못하는 출력 장치에서 예리한 하프톤 영상을 만들어 내기 위해서 사용하는 방법이다. 이 방법은 특히 칼라 디더링에 있어서는 순차 디더링에 비해 아주 좋은 이미지를 생성한다.

Floyd 등에 의해 제안된 이 방법은 현재 화소에서 오차를 다음 화소들에 넘겨주면서 전체적으로 오차를 보상해 주는 방법을 취한다.

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline & * & a_{i+1,j} \\ \hline a_{i-1,j+1} & a_{i,j+1} & a_{i+1,j+1} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline & * & 7 \\ \hline 3 & 5 & 1 \\ \hline \end{array} \times 1/16$$

* : 현재 화소

III. 제안된 역하프톤닝 방법

이진 영상을 연속 계조 영상으로 변환하는 가장 간단한 방법은 저주파 대역 필터를 통과시켜 이진 패턴을 없애주는 것이다. 이진 패턴을 없애기 위해서 가우시안 필터를 사용한다면 원래 영상이 가지고 있던 에지 영역을 블러링(blurring)시키는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 에지를 잘 표현해 주도록 하는 방법들이 제안되어 왔으며 본 논문에서는 LMS(Least-Mean-Square) 적응 필터링 알고리즘을 사용하여 최적의 필터가중치(weight)를 찾아 필터링하여 연속계조 영상을 얻은 후, 에지맵을 통하여 에지부분이 블러링 되는 것을 막으려하였다.

Fig. 1과 같은 과정에 의해서 하프톤된 영상을 재구성한다.

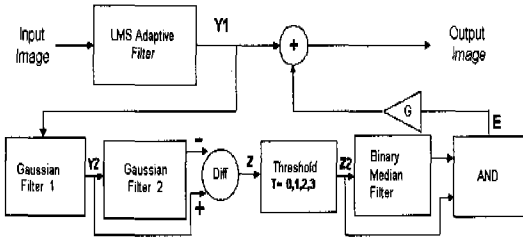


Fig. 1 Block diagram of inverse halftoning

3.1 LMS 적응필터링 알고리즘

Fig. 1의 전체 블록 다이어그램 중에서 LMS 적응 필터를 통하여 영상을 얻는 과정은 Fig. 2와 같다.

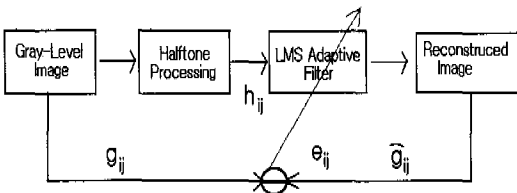


Fig. 2 The LMS adaptive filtering

필터는 원영상 g_{ij} 와 재구성된 영상 사이의 차이 값이 최소가 되는 오차 신호를 식을 통하여 구하였다.

$$\hat{g}_{i,j} = \sum_{k=0}^{L \times L - 1} w(k)h_{i,j}(k) \quad (1)$$

$\hat{g}_{i,j}$: 복원된 그레이 레벨 영상

w : 가중치(=weight)

h_{ij} : 하프톤 영상(=halftone image)

필터 마스크 $L \times L$ 크기는 7×7 이다. LMS 적응 필터링 알고리즘에 의한 하프톤 영상의 복원은 다음의 6단계에 의해서 실행한다.

- ① weight 값들은 0으로 초기화시킨다.
- ② 원영상(g_{ij})을 읽어들인다.
- ③ 하프톤 영상에서 $L \times L$ 크기로 떼어내어서 h_{ij} 를 읽어들인다. 여기서, h_{ij} 값은 0과 1사이 값으로 정규화시켜 사용한다.
- ④ 필터를 계산한다.

$$\hat{g}_{i,j} = \sum w(k)h_{i,j}(k)$$

- ⑤ 오차를 계산한다.

$$e_{i,j} = g_{i,j} - \hat{g}_{i,j}$$

- ⑥ 필터 weight값을 새로운 값으로 갱신한다.

$$w(k) = w(k) + 2\mu e_{i,j}(k)h_{i,j}(k)$$

여기서, μ : 안정성과 수렴률을 조정하는 상수

μ 값은 실험적으로 구한 0.0001을 사용하였다. 값이 큰 경우에는 weight값이 너무 커져서 최적의 값을 찾지 못하고 발산하는 결과가 나오므로 작은 값을 사용하였다. 최적의 필터 계수값을 찾을 때까지 위의 5단계를 반복한다.

위 방법에 대한 흐름도를 나타내면 아래와 같다.

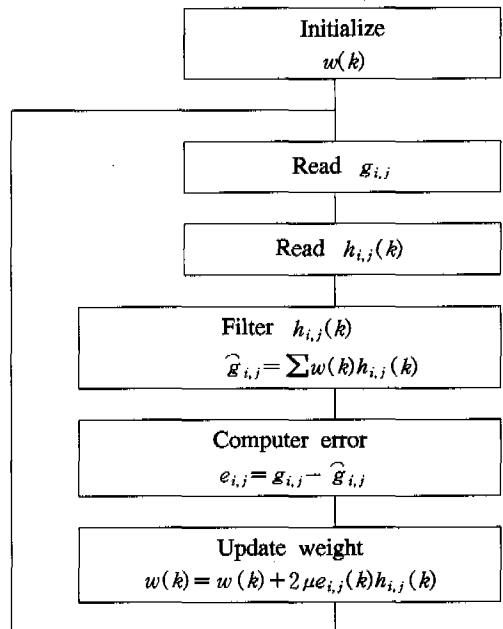


Fig. 3 The flowchart of the LMS adaptive filtering

3.2 에지맵의 구성

에지맵은 [9]를 참고로 하여 구성하였다. Fig. 1에서 LMS 적용 필터링하여 연속계조 영상을 얻은 후, 가우시안 필터1(Y2)과 가우시안 필터2를 통과한 두 영상사이의 차이값에 임계값 T(Threshold)를 적용하여 이진 에지맵(0과 1로 구성됨) 영상 Z2를 얻는다. 여기서, 임계값 T는 0, 1, 2, 3이다. 그러나, 영상 Z2에서는 독립적으로 존재하는 픽셀들을 에지라고 잘못 판단할 수 있다.

이 경우는 5×5 이진 미디언 필터링 처리한 후 얻은 영상과 이진 에지맵을 통하여 얻은 영상을 곱하여 모두가 1인 경우만 에지로 판단하고 독립적으로 존재하는 픽셀들은 노이즈로 판단하여 제거하여 새로운 에지맵을 갖는 영상 E를 구한다. 이 영상 E에 이득(Gain)을 곱하여 얻은 영상과 미디언 필터링후 얻은 영상 Y1을 더하여 새로운 복원된 그레이 영상을 얻는다. 이렇게 하므로 인하여 노이즈나 영상의 에지부분이 블러링되는 것을 줄이려고 하였다. 영상 E가 1인 경우에만(즉, 에지라고 판단되는 경우) 이득 G가 영상 E에 곱해지고 LMS 적용 필터링후 얻은 영상 Y1을 더하여 역하프톤 영상을 구한다.

$$Y(i, j) = Y1(i, j) + GE(i, j) \quad (2)$$

$$\forall (i, j) s.t. E(i, j) = 1$$

여기서, 이득(Gain)은 1, 2, 3, 4, 5, 6이며 에지부분의 강조정도를 결정할 수 있다. 출력 영상 Y는 역하프톤 영상이다. 본 논문의 경우, T와 G값을 조절하여 최적의 영상을 얻도록 하였다.

가우시안 필터 1의 $\sigma=1$ 이고 가우시안 필터 2의 $\sigma=\frac{1}{\sqrt{2}}$ 이다.

IV. 실험 및 고찰

본 논문에서는 하프톤닝된 영상을 가지고 원영상에 가깝게 복원하려고 하였다. 본 실험에 사용된 영상 데이터는 512×512 크기의 그레이 레벨을 가진 Lenna 영상에 clustered-dot dither, dispersed-dot dither, error diffusion 방법을 적용하여 획득한 영상데이터들을 사용하였다. (본 논문에서 clustered dot는 4×4 디더 마스크, dispersed dot는 8×8 디더 마스크를 이용.) 본 논문에서는 Fig. 4와 같은 하프톤닝된 영상을 사용하여 실험하였다.



(a) Clustered dot Dither



(b) Dispersed dot Dither



(c) Error diffusion

Fig. 4 halftone images

Fig. 5에서 에지만을 추출하여, 제안한 방법이 가우시안 필터링에 비하여 에지의 블러링을 줄이고 원영상에 가깝게 복원되었는지를 비교했다. 제안한 방법과 가우시안 필터링한 영상의 에지를 추출한 영상을 보면, 가우시안 필터링한 영상은 에지부분이 많이 블러링 되어있음을 알 수가 있다. 제안한 방법의 에지 추출결과를 보면, 원영상에 비하여 어느 부분에서는 에지가 더 강조되었으며, 이것은 에지 강조 레벨을 파라미터로 곱해주기 때문이다. 그러므로 에지부분이 블러링되는 단점을 극복했음을 알 수가 있다.



(a) Original Image



(b) Gaussian filter



(c) Proposed method

Fig. 5 Edge Comparison of proposed method and gaussian filtering

Table 2는 본 논문에서 역하프토닝을 통해서 구한 영상의 PSNR비를 나타낸 것이다. 가우시안 필터 마스크는 7×7 이며 $\sigma = 2.0$ 을 사용하였다.

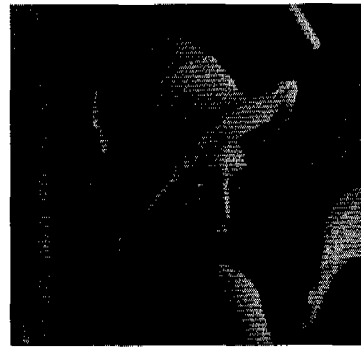
Table 2. PSNR Comparison of inverse halftone(단위: dB)

Halftone	Gaussian filter	LMS	Proposed
clustered	26.359	26.926	26.952
dispersed	26.705	27.318	27.325
error diffusion	27.810	29.144	29.768

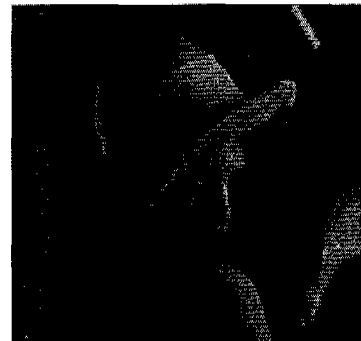
Fig. 6은 Fig.4와 같은 하프톤 영상들에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 얻은 결과이다



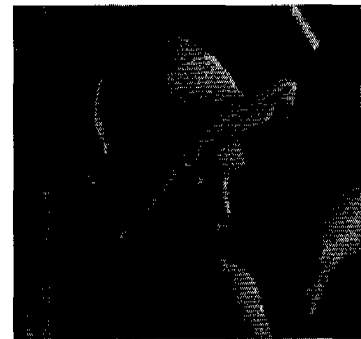
(a) Original image



(b) clustered dot



(c) dispersed dot



(d) error diffusion

Fig. 6 Inverse halftones obtained from halftone images

V. 결론

본 논문은 하프톤영상(이진영상)을 입력으로 하여 원영상에 가까운 복원영상(연속계조영상)을 구하는 역하프톤 방법을 제안하였다. 실험 결과 가우시안 필터링이나 LMS 적응 필터링 방법보다, 본 논문에서 제안한 방법을 사용하여 구한 영상들의 PSNR이 더 증가하였으며 에지부분이 블러링되는 단점을 극복하고 에지를 잘 표현했다. 본 논문에서 제안한 방법을 사용한 결과, LMS 적응 필터링 방법에 비하여 PSNR의 증가는 조금이나 주관적 화질면에서는 우수한 결과 영상을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] R. Ulichney, "Digital Halftoning", MIT Press, Cambridge, Mass, 1987.
- [2] Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice Hall, 1985.
- [3] 남주훈, 김석철, 안석출, 김두영, "신경망을 이용한 비선형 색 좌표계 변환과 칼라 하프톤", 대한전자공학회 합동학술발표회 논문집, pp. 161~165, 1996
- [4] Ping Wah Wong, "Inverse Halftoning and Kernel Estimation for Error Diffusion", IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp. 486~498, 1995.
- [5] Yeong-Taeg Kim, Gonzalo R. Arce, Nikolai Grabowski, "Inverse Halftoning Using Binary Permutation Filters", IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp. 1296~1311, 1995.
- [6] Z. Xiong, Michael T. Orchard, Kannan Ramchandran, "Inverse Halftoning Using Wavelets", Proceedings. ICIP, vol. 1, pp. 569~572, 1996
- [7] 박창대, 이인호, 김재호, "이진 화소 분포를 이용한 Inverse Halftoning", 신호처리종합학술대회 논문집 10권 제 1호, pp. 607~610, 1997.
- [8] Pao-Chi Chang, Che-Sheng Yu, "Neural Net Classification and LMS Reconstruction to Halftone Images", Visual Communications and Image Processing, vol. 3309, pp. 592~602, 1998.
- [9] Niranjan Damera-Venkata, Thomas D.Kite, Mahalakshmi Venkataraman, and Brian L.

Evans, "Fast Blind Inverse Halftoning", Proceedings ICIP, vol. 2 of 3, pp. 64~68, 1998.

고 기 영(Ki-Young Ko)

정회원

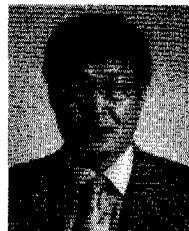


1997년: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년: 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 현 재: 동부산대학 강사

<주관심 분야> Image Processing, Computer Vision

박 철 우(Chul-Woo Park)

정회원



1982년: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년: 동아대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1997년: 동아대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1989년~현재: 동부산대학 정보통신과 부교수

<주관심 분야> Image Processing, 인공지능

조 재 현(Jae-Hyun Cho)

정회원



1986년 2월: 부산대학교 계산 통계학과(이학사)
 1989년 2월: 숭실대학교 전자계산학과(공학석사)
 1998년 2월: 부산대학교 전자계산학과(이학박사)

1993년 3월~현재: 지산대학 전산정보처리과 조교수