

국부 이진패턴 기반 참조표를 이용한 역 하프토닝 알고리즘

*서원교 **조남익

서울대학교 전기컴퓨터공학부

*cusisi@ispl.snu.ac.kr **nicho@ispl.snu.ac.kr

Inverse halftoning algorithm using local binary pattern based lookup table

*Seo, Won-Kyo **Cho, Nam-Ik

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

요약

영상 역 하프토닝은 입력된 하프톤 영상으로부터 그레이 영상을 복원시키는 것으로, 하프톤 영상으로 처리하지 못하는 다양한 영상처리를 가능하게 해주는 방법이다. 기존의 참조표를 이용한 역 하프토닝 방법은 다양한 하프톤 영상과 원본 그레이 영상으로부터 추출한 정보를 이용해 입력 영상을 복원시키는데, 본 논문에서는 이를 바탕으로 하여 영상의 질을 전반적으로 향상시킬 수 있는 국부적인 이진 패턴 기반 참조표를 이용한 영상 역 하프토닝 방법을 제안한다. 먼저 참조표를 이용한 역 하프토닝 방법을 이용해 영상을 복원한 후 각 픽셀에서의 국부 이진패턴을 계산하여 각 픽셀 값을 패턴에 따라 분류한다. 분류된 패턴 정보에 따라 국부 이진 패턴 기반 참조표를 생성하고 이를 통해 입력 하프톤 영상에 대한 역 하프토닝을 수행한다. 실험 결과는 제안하는 알고리즘이 오류 확산법에 의해 변환된 하프톤 이미지를 역 하프토닝 했을 때, 기존의 역 하프토닝 방법에 비해 더 나은 PSNR을 달성하는 것을 보인다.

1. 서론

영상 하프토닝은 일종의 이진화 기술로서 입력으로 들어온 그레이 영상을 0과 1만을 가지는 영상으로 변환시켜주는 이미지 프로세싱 기술 중 하나이다. 하프톤 영상은 단순한 이진화 방식과는 다르게 인지 시각시스템에 의해 자연스러운 영상처럼 보이게 만들어 주기 때문에 책, 잡지, 뉴스 등의 인쇄에 많이 쓰이고 있다. 하지만 하프톤 영상은 이미 손실된 영상이기 때문에 이미지 스케일링, 압축, 또는 화상 개선 등의 이미지 프로세싱 분야에서 그레이 영상에 비해 다루기가 어렵다. 따라서 이를 가능하게 하려면 하프톤 영상을 그레이 영상으로 만들어 줄 필요가 있는데, 이미 손실된 정보를 완벽히 복구하기는 어려우므로 최대한 원본 영상과 유사하도록 만들어주는 연구가 최근까지 많이 진행되어 오고 있고, 이를 영상 역 하프토닝이라고 한다. Damera-Venkata 등은 가우시안 필터를 활용한 역 하프토닝 방법을 제안하였고[1], Analoui 등은 POCS(projection onto convex sets)를 이용한 역 하프토닝 알고리즘을 개발하였다[2].

Mese 등은 참조표를 이용한 영상 역 하프토닝 방법을 제안하였는데, 트레이닝 하프톤 영상에서 동일한 하프톤 패턴을 가지는 국부적 영역들과 그에 대응되는 그레이 영상의 픽셀 값들의 평균을 참조표에 저장한 후 역 하프토닝에 이용하였다[3]. 하지만 동일한 패턴을 가지는 하프톤 영역일지라도 넓은 분포의 픽셀 값을 가질 수 있기 때문에, 이를 통해 복원된 영상은 블러된 것처럼 보일 수 있는데, [4]에서는 에지 정보를 이용하여 동일한 하프톤 패턴에 대한 픽셀 값들을 재분류 함으로써 결과를 향상시켰다.

본 논문에서는 Floyd-Steinberg 오차확산법에 의해 변환된 하프톤 영상을 국부 이진패턴 기반 참조표를 이용해 그레이 영상으로 복원하는 방법을 제안한다. 전처리 과정으로써 참조표를 이용한 역 하프톤

닝 방법을 이용해 역 하프톤 영상을 만들고, 각각의 하프톤 영역을 역 하프톤 영상에서의 국부 이진 패턴을 이용해 다시 한 번 분류함으로써 좀 더 정확한 픽셀값을 추정한다. 이를 통해 만들어진 국부 이진패턴 기반 참조표를 이용해 개선된 역 하프톤 이미지를 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 알고리즘의 전처리 과정으로 사용되는 참조표를 이용한 역 하프토닝 알고리즘에 대해서 설명한다. 3장에서는 국부 이진 패턴 기반 참조표를 이용한 역 하프토닝 알고리즘에 대해서 설명한다. 실험 결과는 4장, 결론은 5장에서 맺는다.

2. 참조표를 이용한 역 하프토닝

참조표를 이용한 역 하프토닝 알고리즘에서는 트레이닝 과정을 통해 참조표를 만들는데, 이 때 국부적으로 동일한 하프톤 패턴을 가지는 픽셀 값을 추출해서 그들의 평균값을 참조표에 저장한다. 이 값들을 새로운 입력 하프톤 영상이 들어왔을 때 역 하프토닝에 이용한다[3].

M개의 원본 그레이 영상과 그에 대응되는 하프톤 영상이 주어졌을 때, 각각을 $G_m, H_m, 1 < m < M$ 이라 하자. 그리고 참조표를 저장할 공간 $LUT[]$ 와 각각의 개수를 저장할 공간 $N[]$ 을 준비한다. 그림 1과 같이 하프톤 영상 H_m 에 4×4 템플릿 T 를 위치시키고 각각의 픽셀 위치를 S_0, S_1, \dots, S_{15} 라 할 때, 참조표에 저장할 인덱스 I 는 아래와 같이 구한다.

$$I = \sum_{k=0}^{15} 2^k S_k^h \quad (1)$$

템플릿 T 에 대응되는 원본 영상에서의 픽셀 위치는, 그림 1에서 붉은

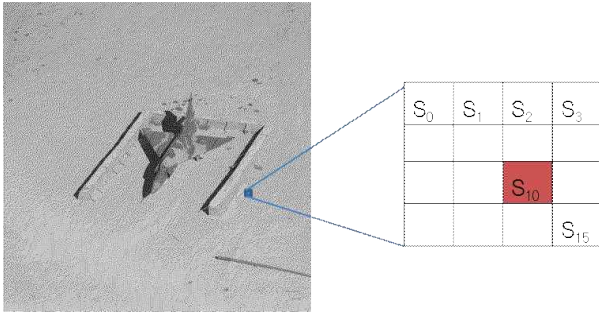


그림 1. air plane 하프톤 영상과 4 x 4 템플릿 T

색으로 표시된 S_{10} 에 해당되기 때문에 원본 그레이 영상의 픽셀값 S_{10}^o 을 LUT[I] 저장공간에 더해준다. 또한 평균값을 취하는 것이 목적이므로 인덱스 I에 해당하는 패턴이 나타날 때마다 N 저장공간의 해당 인덱스 값을 1씩 증가시킨다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} LUT[I] &= LUT[I] + S_{10}^o \\ N[I] &= N[I] + 1 \end{aligned} \quad (2)$$

템플릿 T를 래스터 스캔 방향으로 전체 M개의 트레이닝 이미지에 대해서 위와 동일한 작업을 수행하고, 최종적으로 아래와 같이 값의 평균을 취한다.

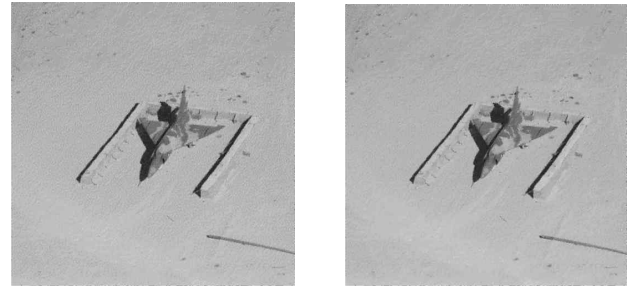
$$LUT[I] = \frac{LUT[I]}{N[I]} \quad (3)$$

트레이닝 영상에서 추출되지 않은 패턴이 있을 경우, 참조표에서의 해당 위치 값은 비어 있게 되는데, 이 패턴들은 이미 채워져 있는 패턴과 그 값들을 이용해 선형 추정 값으로 대체한다. 테스트 과정에서는 하프톤 영상에 템플릿 T를 위치시키고 해당 인덱스의 값을 LUT 저장공간에서 검색함으로써 역 하프토닝을 수행한다.

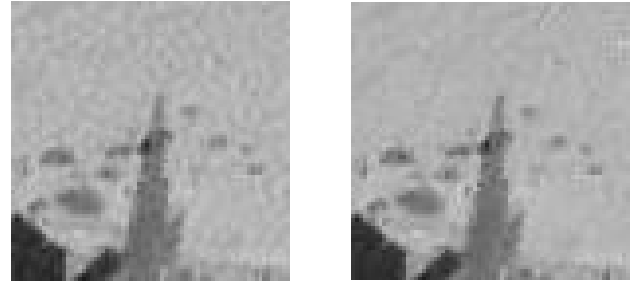
3. 제안하는 알고리즘

2절에서 설명한 참조표를 이용한 역 하프토닝 방법에서는 동일한 패턴에 해당하는 값들을 트레이닝 이미지에서 찾고 이를 평균을 취하는데, 동일한 패턴이라고 해도 실제 그레이 영상에서의 픽셀값들은 넓게 분포되어 있다. 이 값들의 분포를 좁게 만들어서 좀 더 정확한 추정값을 얻기 위해 국부 이진패턴 기반 참조표를 이용한 역 하프토닝 방법을 제안한다.

M개의 원본 그레이 영상과 그에 대응되는 하프톤 영상이 주어졌을 때, 2절에서 설명한 참조표를 이용한 역 하프토닝 방법을 이용해서 역 하프톤 영상을 만들고 각각을 각각을 $G_m, H_m, IH_m, 1 < m < M$ 이라 하자. 그리고 국부 이진패턴 기반 참조표를 저장할 공간 LLUT[I,J]와 각각의 개수를 저장할 공간 N[I,J]을 준비한다. 2절에서 설명한 참조표를 이용한 역 하프토닝 알고리즘과 유사하게 하프톤 영상 H_m 에 4 x 4 템플릿 T를 위치시키고 참조표에 저장할 인덱스 I를 식(1)과 같이 구한다. 이 때 참조표를 이용한 역 하프톤 영상 IH_m 에서 S_{10} 에 해당하는 좌표를 기준으로 3 x 3 이웃 픽셀을 대상으로 국부 이진패턴을 계산한다. 국부 이진패턴은 중심 픽셀과 3 x 3 이웃 픽셀의 크기 비교를 통



(a) (b)



(c) (d)

그림 2. (a) 참조표를 이용한 airplane 역 하프톤 결과 영상 (b) 국부 이진패턴 기반 참조표를 이용한 airplane 역 하프톤 결과 영상 (c) (a)의 비행기 꼬리 부분 확대 영상 (d) (b)의 비행기 꼬리 부분 확대 영상

표 1. LUT와 LLUT 방법에 따른 역 하프톤 영상의 PSNR 결과

	LUT[3]	LLUT
Barbara	25.87	25.88
mandrill	27.69	27.45
Lena	30.07	30.88
peppers	29.42	30.40
airplane	31.75	33.13
boat	29.09	29.51
goldhill	29.01	29.54
average	28.98	29.54

해, 각각의 이웃 픽셀 값이 중심 픽셀보다 크면 1, 그렇지 않으면 0을 할당하고 이 값들을 이어 붙여 8비트 이진수로 만든다. 본 논문에서는 S_{10}^H 을 기준으로 S_{10}^H 부터 반시계 방향으로 S_{10}^H 과 크기비교를 통해 8비트 이진수를 만들고 이를 십진수로 변환한 값을 인덱스 J에 할당한다.

인덱스 I,J 에 해당하는 원본 그레이 영상 픽셀 값이 S_{10}^o 이므로 이를 LLUT[I,J]에 더해주고 N[I,J]의 값을 1 증가시킨다. 이를 수식으로 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} LLUT[I,J] &= LLUT[I,J] + S_{10}^o \\ N[I,J] &= N[I,J] + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

템플릿 T를 래스터 스캔 방향으로 전체 M 개의 트레이닝 이미지에 대해서 수행하고 최종적으로 아래와 같이 평균값을 취한다.

$$LLUT[I,J] = \frac{LLUT[I,J]}{N[I,J]} \quad (5)$$

테스트 과정에서는 하프톤 영상에 템플릿 T를 위치시키고 해당 인덱스 값을 참조표 LLUT를 이용하여 역 하프토닝을 수행한다. 만약 해당

인덱스의 LLUT 값이 비어있다면 2절에서 설명한 LUT 참조표를 이용한다.

4. 실험결과

본 절에서는 제안하는 알고리즘을 이용하여 하프톤 영상으로부터 그레이 영상을 복원한 결과를 보여준다. 실험에서는 트레이닝 샘플로 [3]에서 제공한 30개의 트레이닝 이미지와 각각을 Floyd-Steinberg 방식을 이용한 하프톤 영상을 사용하였고, 테스트 이미지로는 표 1에 나와있는 것처럼 512 x 512 사이즈의 Barbara, mandrill, Lena, peppers, airplane, boat, goldhill 7가지 이미지를 사용하였다. 그림 2에서 airplane 영상에 대해 LUT [3]와 LLUT(제안하는 알고리즘)를 이용한 역 하프톤 결과 이미지를 볼 수 있는데, 특히 이를 확대한 그림 2 (c)와 (d)를 비교해 보면 LLUT를 사용했을 때 비행기 꼬리 부분에서 개선된 영상을 얻은 것을 볼 수 있다. 참조표를 이용한 역 하프톤(LUT 역 하프톤) 영상과 국부 이진패턴 기반 참조표를 이용한 하프톤(LLUT 역 하프톤) 영상의 PSNR 실험결과를 표 1에 나타내었는데, 전체적으로 더 나은 PSNR 성능을 보이며 평균적으로 0.52의 PSNR 이득이 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Floyd-Steinberg 오차확산법에 의해 변환된 하프톤 영상을 국부 이진패턴 참조표를 이용해 그레이 영상으로 복원하는 방법을 제안하였다. 제안하는 알고리즘에서는 먼저 참조표를 이용한 역 하프톤 영상을 만들고, 국부적인 하프톤 영역을 역 하프톤 영상에서의 국부 이진 패턴을 이용해 다시 한 번 분류함으로써 픽셀 추정값을 좀 더 정확히 트레이닝 하였다. 실험결과를 통해 제안하는 방법이 기존의 참조표를 이용한 역 하프톤 방식에 비해 나은 PSNR을 달성함을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] N. Damera-Venkata, T. D. Kite, and B. L. Evans, "Fast blind inverse halftoning," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. 2, Oct. 1998, pp. 64 - 68.
- [2] M. Analoui and J. P. Allebach, "New results on reconstruction of continuous-tone from halftone," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, vol. 3, 1992, pp. 313 - 316.
- [3] M. Meser and P. P. Vaidyanathan, "Look up table (LUT) method for inverse halftoning," IEEE Trans. Image Process., vol. 10, no. 10, pp. 1566 - 1578, Oct. 2001.
- [4] K. L. Chung and S. T. Wu, "Inverse halftoning algorithm using edgebased lookup table approach," IEEE Trans. Image Process., vol. 14, no. 10, pp. 1583-1589, Oct. 2005.