

# 참조표와 벡터적응필터를 이용한 디지털 컬러영상의 역하프토닝

정회원 김 찬 수\*, 이 태 홍\*\*°

## Inverse Halftoning of Digital Color Image using Look-Up Table and Vector Adaptive Filter

Chansu Kim\*, Taihong Yi\*\*° *Regular Members*

### 요 약

참조표와 벡터적응필터를 이용하여 디지털 하프톤컬러영상을 역하프토닝하는 방법을 제안한다. 하프토닝은 연속 계조영상을 이진영상으로 변환하는 방법이고 이진영상을 연속계조영상으로 복원하는 것이 역하프토닝이다. 일반적으로 참조표를 이용한 방법은 처리속도가 빠르고 다양한 하프토닝방식에 대해서 고른 성능을 가진다. 참조표의 패턴을 정의하기 위해 사용하는 픽셀의 개수와 R, G, B 각 채널의 참조표를 어떻게 정의하는가는 참조표의 성능에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 표현 가능한 패턴의 종류와 사용되는 메모리량을 고려하여 16개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 하나의 참조표를 사용하는 방법을 제안하였다. 21개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 독립적으로 사용하는 기존의 참조표 방법보다 제안된 참조표가 더 좋은 PSNR을 가지며 속도가 빨라지는 것을 실험결과를 통해 확인하였다. 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 처리방법으로는 주변 픽셀의 정보를 이용하여 컬러를 복원하는 벡터적응필터를 제안하였다. 벡터적응필터는 주변 픽셀이 원영상의 컬러를 잘 반영할수록 좋은 성능을 가진다. 제안된 벡터적응필터의 성능이 기존의 방법보다 더 좋은 성능을 보임을 실험으로 확인하였다. 이를 통해서 제안된 방법이 기존의 방법보다 컬러 복원성능도 더 우수함을 알 수 있었다.

Key Words : Inverse Halftoning, Look-Up Table, Vector Adaptive Filter

### ABSTRACT

Look-up table based inverse halftoning from the digital color halftone image is proposed in this paper, which uses vector adaptive filter for the nonexisting patterns in the table. Halftone image is obtained from a continuous-tone image, which can be restored into continuous one from the digital binary image by way of inverse halftoning method. Look-up table based method usually processes fast and has even performances over the various halftoning. The numbers of pixels in the pattern of table and the method how to define the table elements for each R, G, B channels can effect largely for its performance. The proposed method uses 16 pixels in the table considering the diversity of the expressions from their patterns and with memory size as well. This also proposed how to combine R, G, B channels into one. Experimental results showed the better performance in the expression of colors, better color restoration and the short processing time compared with the conventional ones.

\* 영남대학교 전자공학과 영상통신연구실 (sadcs@ynu.ac.kr)

\*\* 영남대학교 전자정보공학부 전자공학과 교수 (taehong@ynu.ac.kr)(° : 교신저자)

논문번호 : KICS2008-08-338, 접수일자 : 2008년 8월 11일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 24일

### I. 서 론

하프토닝은 연속계조영상을 이진영상으로 변환하는 방법이다. 연속계조영상은 몇 개의 제한된 레벨만을 가지는 인쇄기기용 출력장치를 통해 출력하기에는 적합하지 않다. 따라서 인쇄기기가 표현할 수 있는 2진 레벨형태로 영상을 변환할 필요가 있다. 이를 위해 고안된 것이 하프토닝이다. 하프톤영상은 출판물, 신문, 책, 잡지와 같은 인쇄산업에서 폭넓게 이용되고 있다.

하프톤영상은 하프토닝의 특성에 의해서 원영상이 가지는 데이터 정보가 상당히 유실되기 때문에 추가적인 영상처리과정을 거칠 경우에 정보손실이 더 커진다. 그리고 모니터와 같은 디스플레이장치에 영상을 표현하기 위해서는 왜곡이 심한 하프톤영상보다는 연속계조영상이 더 적합하다. 따라서 하프토닝 과정에서 손실된 정보를 복원하기 위한 역하프토닝 방법이 필요하다.

하프토닝 방식에 따라서 다양한 역하프토닝 방법이 제안되었다<sup>[1]</sup>. 순서화된 디더링 방식의 경우는 POCS(Projection Onto Convex Sets)[2], 비선형 필터링의 방법[3]이 제안되었고 오류확산방식의 경우에는 POCS, 웨이블렛 변환[4], 반복적인 필터처리[5]와 같은 방법이 제안되었다. 도트확산방식에 대해서는 POCS를 이용한 반복적인 방법, Mese와 Vaidyanathan이 제안한 도트확산방식에 의한 하프톤영상에 최적화된 윈도우와 POCS를 이용한 방법[6]이 제안되었다. 위와 같은 역하프토닝 방법은 하프톤영상에서 유실된 고주파 성분을 복원하는데 중점을 두었으며 필터처리와 같은 연산과정이 필요하기 때문에 처리속도가 늦다. 또한 특정 하프토닝 방법을 기준으로 하였기 때문에 적용된 하프토닝 방법에 따라서 성능이 다양하게 된다.

참조표(Look-Up Table)를 이용한 역하프토닝 방법은 특정 하프토닝 방법을 모델로 하지 않기 때문에 다양한 하프토닝 방법에 대해서도 고른 성능을 가지고 필터처리와 같은 연산과정이 필요하지 않기 때문에 처리속도가 빠르다<sup>[7]</sup>. 참조표를 이용한 방법은 참조표 생성과 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 데이터 값 추정방법에 의해서 역하프토닝에서의 성능이 좌우된다.

본 논문에서는 참조표와 벡터적응필터(VAF : Vector Adaptive Filter)[8]를 이용하여 디지털 컬러영상을 역하프토닝하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 참조표를 생성하고 이를 적용하는 1차 처리과

정과 참조표상에 존재하지 않는 패턴에 대하여 벡터적응필터를 적용하는 2차 처리과정으로 구성된다.

제안한 방법을 기존의 방법과 비교 검토하여 그 유용성을 확인하였다.

### II. 참조표 생성 및 적용

참조표는 다수의 패턴과 그에 해당하는 반환값으로 구성된다. 참조표를 작성하기 위해서는 템플레이트와 학습영상이 필요하다. 템플레이트는 패턴을 생성하기 위해서 사용하는 윈도우를 의미하며 학습영상은 템플레이트를 적용시켜 패턴과 반환값을 생성하기 위해 사용하는 영상을 의미한다. 발생 가능한 모든 패턴의 형태가 참조표에 존재하기 위해서는 학습영상을 고주파성분과 저주파성분이 균일하게 표현되어 있는 영상으로 선택해야 한다.

그림 1은 4×4 템플레이트를 나타내며 0에서 15까지의 숫자는 픽셀을 읽는 순서를 의미한다. 참조표를 작성할 때 템플레이트에 의해 발생하는 패턴을 쉽게 인식하기 위해서 패턴의 순서를 정해줄 필요가 있다. 발생한 패턴을 10진수로 표현한 식 (1)에서 *i*의 순서에 따라 참조표에 저장한다. 템플레이트를 적용시켜 패턴을 정의할 때 하나의 패턴에 대하여 여러개의 반환값들이 존재할 수 있다. 반환값들을 모두 반영하기 위해서 이들의 평균값을 사용한다. 평균값을 구하기 위해서 식 (2)를 이용하여 패턴의 발생횟수를 저장하고 식 (3)을 이용하여 패턴의 반환값들의 합을 저장한다. 반환값들의 합을 발생횟수로 나누어 식 (4)와 같이 평균값을 구한다. 이 평균값은 패턴을 대표하는 값이다.

그림 1의 템플레이트를 사용하여 참조표를 생성하는 방법은 다음과 같다. 우선 학습영상의 하프톤영상과 원영상을 준비한다. 패턴의 대표값  $lut[\cdot]$ , 패턴의 발생횟수  $pc[\cdot]$ , 반환값  $Rv[\cdot]$ 를 정의한다. 템플레이트를 하프톤영상의 좌측 최상단에 위치시킨 후 식 (1)을 이용하여 템플레이트에 의해 발생한 패턴

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	0(R)	11
12	13	14	15

그림 1. 4×4 템플레이트

의 참조표상의 순서  $i$ 를 구한다. 식 (1)의  $n$ 은 템플레이트에 사용된 픽셀의 개수이고  $d_j$ 는 템플레이트에서  $j$ 번째 픽셀의 데이터 값을 의미한다. 참조표에 발생 가능한 패턴의 총 개수는  $2^n$ 이다.

$$i = \sum_{j=0}^{n-1} 2^j d_j \quad (1)$$

식 (1)에서 구한  $i$ 의 패턴이 한번 발생하였으므로 발생횟수  $pc[i]$ 를 1만큼 증가시키고 그림 1의 템플레이트의 (R)의 위치에 해당하는 원영상의 데이터 값을  $Rw[i]$ 에 대입한다. 이는 식 (2), 식 (3)과 같다.  $t_{(R)}$ 은 템플레이트에서 (R)의 위치에 있는 데이터 값을 의미한다.

$$pc[i] = pc[i] + 1 \quad (2)$$

$$Rw[i] = Rw[i] + t_{(R)} \quad (3)$$

템플레이트의 위치를 우측으로 한 픽셀씩 이동하면서 식(1)에서부터 식 (3)까지의 과정을 반복한다. 영상의 모든 픽셀에 대하여 템플레이트를 적용시킨 후에 식 (4)를 이용하여  $lut[i]$ 의 값을 구한다. 이때  $Rw[i]$ 와  $pc[i]$ 는 참조표의  $i$ 번째 위치에 저장되어 있는 최종 데이터 값을 의미한다. 식 (4)에서 구한 전체 픽셀에 대한 평균값은  $lut[i]$ 의 대표값으로 사용한다.

$$lut[i] = \frac{Rw[i]}{pc[i]} \quad (4)$$

R, G, B 각 채널에 대하여 위의 과정을 반복적으로 수행한다. R, G, B 각 채널에서 생성된 참조표를 서로 비교하여 통합된 하나의 참조표를 작성한다. 통합하는 과정은 우선 R, G, B 각 채널의 참조표에 존재하는 패턴을 서로 비교한 후 존재하는 모든 패턴을 통합된 참조표에 기록하고 각 패턴에 대한 반환값을 지정해 준다. 이때 통합된 참조표의 반환값은 R, G, B 각 채널에 정의된 반환값을 사용한다. 만약 동일한 패턴에 대하여 각 채널이 다른 반환값을 가질 경우에는 이들 반환값들을 모두 반영하기 위해서 각 채널의 반환값의 평균값을 통합적으로 이용하고 다른 채널의 참조표에 없는 패턴이 어느 한 채널에서만 존재할 경우에는 그 값을 통합하여 사용한다. R, G, B 각 채널의 참조표에서 같은 패턴의 경우에는 비슷한 반환값을 가질 확률이 높다. 이는 패턴이 템플레이트를 적용시킬 때 픽셀의 분포에 의해 결정되기 때문이다. 즉 패턴이 유사하기 위해서는 주변의 픽셀이 유사한

분포를 가져야 한다. 따라서 동일한 패턴에 대해서 각 채널이 다른 반환값을 가질 때 이들의 평균값을 이용하더라도 독립적인 참조표를 사용한 경우와 유사한 성능을 유지 할 수 있다. 다수의 학습영상에 대하여 위의 과정을 반복적으로 실행하여 참조표를 작성한다.

작성된 참조표를 이용하여 역하프토닝하는 과정은 다음과 같다. 처리하고자 하는 하프톤영상의 좌측 최상단에 템플레이트를 위치시킨 후에 식 (1)을 이용하여  $i$ 를 구한다. 작성된 참조표에서  $lut[i]$ 의 값을 역하프토닝 영상의 메모리 공간 중에서 (R)에 대응하는 위치에 대입한다. 템플레이트를 우측으로 한 픽셀씩 이동하면서 이 과정을 반복수행하여 역하프토닝 영상의 메모리 공간을 모두 채우면 역하프토닝 영상이 완성된다.

기존의 방법<sup>[7]</sup>에서 사용한 참조표는  $n$ 을 21개를 사용함으로  $2^{21} = 2048K$  바이트의 크기를 가지고 R, G, B 각 채널에 대하여 독립적인 참조표를 작성하였으므로 참조표의 개수는 3개이다. 이는 참조표 생성시에 많은 계산시간을 필요로 하고 사용되는 메모리의 크기도 커지기 때문에 비효율적이다.  $n$ 을 너무 크게 선택하면 참조표를 작성하기 위한 시간이 길어지고 필요한 메모리의 양이 급격하게 증가하게 되고  $n$ 의 크기를 너무 작게 선택하면 참조표가 표현가능한 패턴의 수가 줄어들기에 성능이 급격히 감소한다. 따라서 본 논문은 계산시간을 줄이고 사용되는 메모리량을 감소시키기 위하여  $n$ 을 16개로 사용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 하나의 참조표를 사용한다.

기존의 방법에서  $n$ 의 개수를 크게 한 이유는 발생 가능한 패턴의 수를 크게 하여 참조표에 존재하지 않는 패턴의 수를 감소시켜 참조표의 성능을 향상시키기 위해서이다. 하지만 참조표에 존재하는 패턴 중에서 실제로 사용되지 않는 패턴이 존재한다. 또한  $n$ 의 개수가 클수록 발생 가능한 패턴의 개수가 증가하기 때문에 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생가능성도 커진다. 따라서 적당한 크기의  $n$ 을 선택할 필요가 있다.

본 논문에서는 발생 가능한 패턴의 개수와 처리 속도, 메모리의 크기를 고려하여  $n$ 의 크기를 16개를 사용하고 존재하지 않는 패턴의 개수를 감소시키기 위해서 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하였다.  $n$ 의 개수를 21에서 16개로 감소시켰기 때문에 참조표를 위한 메모리가 6291K 바이트에서 65K 바이트로 약 1/93로 크게 감소할 뿐만 아니라 참조

표 작성시에 상관도가 낮은 픽셀의 값을 이용하지 않기 때문에 참조표의 성능을 향상 시킬 수 있다. 그리고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 사용하면 하나의 채널에서 발생하지 않은 패턴이 존재하더라도 다른 채널에서 발생한 패턴으로 보완되기 때문에 참조표에 존재하지 않는 패턴의 수가 감소한다. 이는 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 2차 처리횟수를 감소시켜 처리속도의 향상을 가져온다.

### III. 벡터적응필터

작성한 참조표를 사용하는 과정에서 참조표에 존재하지 않는 패턴이 발생할 수 있다. 이는 학습영상이 발생 가능한 모든 패턴을 내포하지 않기 때문에 발생하는 문제이다. 이 경우에는 추가적인 처리과정을 통해서 패턴의 반환값을 유지하여야 한다. 기존의 방식으로는 저주파 통과 필터링, 해밍거리를 이용한 방법, 최량선형추정(BLE : Best Linear Estimation) 등이 있다<sup>9)</sup>.

본 논문에서는 벡터적응필터의 사용을 제안한다. 벡터적응필터는 R, G, B 성분으로 표시되는 벡터성분들의 크기와 벡터 성분들 사이의 사이각 정보를 이용하여 존재하지 않는 패턴의 값을 추정하는 방법이다. 벡터성분의 크기  $C$ 는 식 (5)와 같고 사이각  $\theta$ 는 식 (6)과 같다. 이 때  $R_{data}$ ,  $G_{data}$ ,  $B_{data}$ 는 각각 R, G, B 채널의 픽셀값을 의미하고  $V_i$ ,  $V_j$ 는 R, G, B 성분으로 표현된 두 벡터를 의미하며 ‘•’는 내적을 나타낸다.

$$C = \sqrt{R_{data}^2 + G_{data}^2 + B_{data}^2} \quad (5)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{V_i \cdot V_j}{\|V_i\| \|V_j\|} \right) \quad (6)$$

벡터적응필터는  $C$ 와  $\theta$ 를 이용하여 가중치를 계산하고 가중치를 패턴의 각 성분과 곱함으로써 존재하지 않는 패턴의 값을 유추한다. 이때 벡터의 크기  $C$  값이 다른 벡터의 크기값과 유사하고  $\theta$ 가 작을수록 큰 가중치를 가진다. 이는  $C$ 의 값이 유사하고  $\theta$ 가 작을수록 유사한 컬러를 가지기 때문이다. 즉 템플레이트 내부에서 발생빈도가 높은 컬러는 높은 가중치를 가지고 그 반대의 경우에는 낮은 가중치를 가진다.

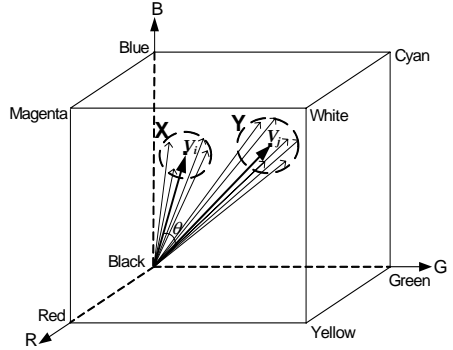


그림 2. R, G, B 성분으로 구성된 벡터와 컬러 입방체 모형

그림 2는 R, G, B 성분으로 이루어진 벡터들을 나타내고 있다. X그룹과 Y그룹은 템플레이트 내부의 R, G, B 픽셀을 벡터로 표현하여 유사한 컬러를 가지는 그룹별로 표시한 것이다.  $V_i$ ,  $V_j$ 는 각각 X그룹과 Y그룹의 무게중심을 나타낸다. 이 경우에 Y그룹에 해당하는 벡터들의 수가 X그룹에 비해서 더 많기 때문에 Y그룹의 무게중심  $V_j$ 에 근접한 벡터일수록 높은 가중치를 가지고 멀어질수록 낮은 가중치를 가지게 된다. 기존의 방법들은 고정적인 가중치를 사용하거나 주변의 픽셀 정보를 반영하지 않기 때문에 템플레이트를 적용시킬 때마다 컬러정보를 유연하게 반영하지 못한다. 이에 반해 본 논문에서 제안된 벡터적응필터는 템플레이트를 적용시킬 때마다 주위의 컬러정보를 감안하여 가변적인 가중치를 사용함으로써 주변의 픽셀들이 가지는 컬러정보를 적응적으로 반영한다.

벡터적응필터에 사용되는 가중치  $w_j$ 는 식 (7)과 같다.  $j$ 는 템플레이트에서의 픽셀 위치를 의미하고  $\alpha_j$ 는  $C$  또는  $\theta$ 의 값이다.  $\beta$ 는 수렴성을 감안하여 가중치가 0과 1사이의 값을 갖게 하기 위한 상수이고  $\gamma$ 는 잡음에 따라 결정되는 임의의 상수이다.

$$w_j = \frac{\beta}{[1 + \exp(\alpha_j)]^\gamma} \quad (7)$$

가중치를 결정할 때  $C$ 와  $\theta$  중에서 하나의 정보만을 이용할 수도 있고 두 정보를 모두 사용할 수도 있지만 두 정보를 모두 이용하는 것이 더 좋은 성능을 가진다. 이는 유사한 컬러가 아닐지라도 크기나 사이각 중에 어느 한쪽이 비슷한 수치를 가질 수 있기 때문이다. 따라서 두 정보를 모두 사용하면

컬러의 구분을 분명히 하여 더 정확한 색채의 표현이 가능하다.

### III. 실험 및 검토

참조표를 작성하기 위한 학습영상은 객관적인 비교를 위하여 기존의 방법 [7][9]와 동일하게 선택하여 성능을 비교하였으며 기존의 템플레이트는 [7]과 동일하고 본 논문의 템플레이트는 그림 1을 사용하였다. 벡터적응필터의 가중치를 구하기 위한 식 (7)의 계산과정에 사용하는 변수는 [7][9]와 동일한  $\beta=2.0$ ,  $\gamma=1.0$ 으로 사용하였다[8]. 성능비교를 위하여 사용한 기존의 하프톤링 방식 중에서 비교적 성능이 우수한 오류확산법[10]을 선택하였다.

표 1은 참고문헌 [7]에서 사용한 30개의 테스트 영상에 대하여 기존의 참조표방식에 최적선형추정(BLE)방식을 적용한 기존방식과 본 논문에서 제안한 참조표와 벡터적응필터(VAF)를 적용한 방법을 비교 실험한 결과이다. 영상 전체에 대한 PSNR은 30개 영상의 PSNR을 평균하여 구한 것으로 기존방법은 24.74dB이고 제안방법이 25.61dB로 제안한 방법이 0.87dB의 성능개선을 보였다. 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 평균 PSNR은 영상의 전체 영역에서 참조표를 사용하지 않은 영역만을 추출하여 계산한 것으로 기존방법이 33.18dB이고 제안방법이 56.74dB로 제안한 방법이 약 23.56dB의 우수한 성능을 보였다. 참조표에 존재하지 않는 패턴의 평균 발생개수는 262144개의 픽셀 중에서 기존방법이 3266개이고 제안방법이 106개였다. 제안방법에서 참조표에 존재하지 않는 패턴의 수가 무시할 정도로 적음을 알 수 있다. 30개 하프톤영상에 대해서 역하프톤링에 소요된 총시간은 기존방법이 217초이고 제안방법이 121초로 제안방법이 거의 2 배 더 빠르게 처리되었음을 알 수 있었다.

표 1. 테스트 영상에 처리결과

Item	Conventional LUT and BLE	Proposed LUT and VAF
PSNR of entire image	24.74dB	25.61dB
PSNR of Nonexisting pattern in LUT	33.18dB	56.74dB
Nonexisting pattern in LUT	3266	106
Total time	217 second	121 second

표 2. 참조표 방식에 따른 PSNR 비교

Image	PSNR(dB)	
	Conventional LUT	Proposed LUT
papav	27.81	29.70
pallon	29.04	31.24
voit	24.67	29.64
lena	28.23	29.45
yacht	27.39	29.02
flowers	26.00	28.68
sailboat	25.38	26.92
mandrill	22.10	24.55
average	26.33%	28.65%

표 2는 참조표만을 사용한 영역에 대한 성능을 확인하기 위하여 기존의 참조표와 제안한 참조표를 사용했을 때의 PSNR을 나타내었다. 평균 PSNR이 기존 참조표는 26.63dB이고 제안한 참조표는 28.65dB로 제안한 참조표가 2.32dB 더 좋은 PSNR을 나타내었다. 기존의 참조표는 참조표를 작성할 때 21개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표가 독립적으로 존재하기 때문에 사용되는 메모리량이 많고 처리시간도 길다. 이에 반해 제안한 참조표는 참조표를 작성할 때 16개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 사용하기 때문에 기존의 참조표보다 메모리 사용량이 적고 처리시간도 단축된다. 제안한 참조표가 더 적은 메모리량과 처리시간을 가지면서도 기존의 참조표보다 좋은 성능을 가지는 이유는 참조표를 작성할 때 상관도가 높은 픽셀만을 이용하기 때문이다. 기존의 참조표는 21개의 픽셀을 이용할 때 상관도가 높은 이웃한 픽셀들 이외의 상관도가 낮은 주변의 픽셀도 이용하지만 제안된 참조표는 상관도가 높은 이웃한 픽셀만을 이용함으로써 상관도가 낮은 픽셀의 사용으로 인한 성능저하를 감소시켰다.

표 3은 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대해서 추가적으로 처리한 영역의 성능을 확인하기 위하여 기존방법인 최적선형추정을 사용했을 때와 제안방법인 벡터적응필터를 사용한 경우의 PSNR을 나타내었다. 벡터적응필터는 식 (7)의  $a_j$ 에 크기  $C$ 와 사 이각  $\theta$  중에서 하나만을 사용했을 때와  $C$ 와  $\theta$ 를 모두 사용했을 때의 PSNR을 각각 나타내었다. NP는 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생개수로 추 가처리과정의 실행횟수와 같다. 21개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 분리하여 사용하는 기존의 참조표에서 존재하지 않는 패턴의 평

표 3. 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 PSNR 결과(NP : 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생 개수)

Image	Conventional LUT		Proposed LUT			
	NP	PSNR of BLE	NP	PSNR of VAF		
				C	$\theta$	C, $\theta$
papav	16	46.04	0	-	-	-
pallon	18	46.25	64	75.47	70.65	76.88
voit	390	31.74	37	60.92	64.59	64.52
lena	323	39.23	31	62.66	66.90	65.96
yacht	609	35.59	45	59.68	60.57	61.39
flowers	866	32.35	58	53.11	57.02	55.39
sailboat	1351	32.12	125	50.71	52.44	52.06
mandrill	4129	27.82	608	45.33	46.49	46.28
average	962	36.39	121	58.27	59.81	60.35

균 발생개수는 962개이고 16개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 사용하는 제안한 참조표에서 존재하지 않는 패턴의 평균 발생개수는 121개로 제안된 참조표가 기존의 방법에 대하여 1/8 정도의 무시할 만큼 적은 양을 보였다. 이는 기존의 참조표보다 제안한 참조표가 발생 가능한 패턴을 더 충실히 내포하고 있기 때문이다. 기존 방법인 최적선형추정을 사용했을 때의 평균 PSNR은 36.39dB이고 제안한 벡터적응필터를 사용했을 때의 평균 PSNR은 60.35dB로 제안한 방법이 23.96dB 더 좋은 성능을 보였다. 벡터적응필터에서 크기 C만을 사용하였을 때의 평균 PSNR은 58.27dB이고 사이각  $\theta$ 만을 사용하였을 때는 59.81dB이며 크기와 각을 모두 사용하였을 때는 60.35dB으로 크기와 사이각 모두를 사용했을 때 더 좋은 성능을 가짐을 확인하였다. 기존의 최적선형추정은 고정된 가중치를 사용하기 때문에 템플레이트를 적용시킬 때마다 변하는 주변의 컬러정보를 유연하게 반영하지 못하기 때문에 참조표에 존재하지 않는 패턴의 수가 증가할수록 성능의 감소가 크다. 이에 반해 제안한 벡터적응필터는 적응적인 가중치를 사용하기 때문에 성능이 우수하고 참조표에 존재하지 않는 패턴이 증가하더라도 기존의 방법보다 성능의 감소가 크지 않음을 확인하였다.

표 4는 처리속도를 확인하기 위하여 기존의 참조표와 최적선형추정을 사용한 기존방법과 제안한 참조표와 벡터적응필터를 사용한 제안방법으로 하나의 하프톤영상에 대하여 역하프토닝 처리하는 시간을 나타내었다. 8개의 영상에 대한 평균 처리시간이 기

표 4. 참조표 방식에 따른 처리속도 (NP : 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생 개수)

Image	Conventional LUT and BLE		Proposed LUT and VAF	
	NP	processing time (second)	NP	processing time (second)
papav	16	4.3	0	2.6
pallon	18	4.9	64	2.6
voit	390	4.4	37	2.6
lena	323	4.4	31	2.6
yacht	609	4.5	45	2.7
flowers	866	4.6	58	2.6
sailboat	1351	4.7	125	2.7
mandrill	4129	5.4	608	2.7
average	962	4.65	121	2.64

존의 방법은 4.65초이고 제안한 방법은 2.64초로 제안한 방법이 거의 2배 빠른 처리속도를 가졌다. 기존의 방법은 패턴을 찾기 위해서 사용하는 픽셀의 수가 21개이고 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생개수만큼 추가처리과정이 필요하므로 많은 연산량을 가진다. 이에 반해 제안한 방법은 패턴을 찾기 위해서 사용하는 픽셀의 수가 16개이고 참조표에 존재하지 않는 패턴의 발생으로 인한 추가처리과정이 적으므로 연산량이 작다. 따라서 기존의 방법보다 제안된 방법이 연산량이 감소하므로 더 빠른 처리속도를 가진다.

표 5는 참조표의 구조에 따른 성능을 비교하기 위하여 논문 [11]의 트리구조를 이용한 개선된 참조표 역하프토닝 방법과 비교하여 나타내었다. 트리구조를 이용한 참조표는 실제로 존재하는 패턴만을 정의하기 때문에 존재하지 않는 패턴에 메모리를 할당하지 않는 장점이 가지지만 R, G, B 각 채널 별로 각각 참조표를 사용하기 때문에 컬러영상에 대해서는 통합된 참조표를 사용하는 제안한 방법보다 메모리의 사용이 효과적이지 못하다. 트리구조를 이용한 참조표는 템플레이트의 사이즈가 16일 때 평균 PSNR이 23.64dB이고 사용되는 메모리량은 84K 바이트이고 템플레이트의 사이즈가 19일 때 평균 PSNR이 25.17dB이고 사용되는 메모리량은 141K 바이트이다. 본 논문에서 제안된 방법은 템플레이트의 사이즈가 16일 때 평균 PSNR이 28.43dB이고 사용되는 메모리량이 64K 바이트이다. 따라서 제안된 방법이 트리구조를 이용한 참조표보다 PSNR 성능이나 메모리 사용량 면에서 더 우수한 성능을 가진다.

표 5. 참조표 구조에 따른 성능비교

Image	LUT using Tree-Structured method		Proposed LUT
	Template size : 16	Template size : 19	
yacht	23.42dB	24.88dB	29.02dB
barche	25.76dB	26.41dB	30.41dB
barbara	23.32dB	23.70dB	25.79dB
goldhill	21.90dB	24.75dB	28.81dB
sailboat	23.29dB	25.30dB	26.92dB
girl	25.09dB	26.62dB	29.66dB
soccer	22.72dB	24.54dB	28.43dB
Average PSNR	23.64dB	25.17dB	28.43dB
Storage	84K byte	141K byte	64K byte

표 6은 템플레이트의 크기를 가변시키면서 참조표를 작성하고 참조표상에 정의된 패턴을 찾기 위하여 사용하는 픽셀의 개수를 가변적으로 이용하는 방법<sup>[12]</sup>과 제안된 방법을 비교하여 나타내었다. [12]의 논문은 참조표에 정의된 패턴을 찾기 위하여 템플레이트 전체를 이용할 수도 있지만 일부분만을 사용하여 비교대상을 줄이기 위한 것이다. 하지만 참조표 자체의 성능이 제안한 참조표보다 우수하지 못하고 제안한 방법은 패턴을 참조표의 주소로 사용하기 때문에 추가적인 비교를 거칠 필요가 없기 때문에 제안한 방법보다 효과적이지 못하다. 표 6의 2열은 [12]에서 제안한 템플레이트의 형태를 사용하며 템플레이트의 사이즈를 13에서 21까지 증가시키면서 평균 PSNR을 나타내었다. 최대의 성능은 21개의 픽셀을 사용하였을 경우의 26.68dB으로 16개의 픽셀을 사용한 제안 방법의 28.42dB보다 1.74dB만큼 낮은 성능을 보였다.

그림 3부터 그림 6까지를 통해서 기존의 참조표 방식과 최적선행추정을 사용한 기존 방법과 제안한 참조표 방식과 벡터적응필터를 사용한 제안 방법의 결과영상을 시각적으로 확인할 수 있다. 그림 3의 (a)는 mandrill 연속계조 원영상이고 (b)는 오류확산법을 이용한 mandrill 하프톤영상이다. 그림 4는 mandrill 하프톤영상을 역하프톤당한 영상으로서 (a)의 영상은 기존의 참조표 방식과 최적선행추정을 이용하였고 (b)의 영상은 제안한 참조표 방식과 벡터적응필터를 사용하였다. 그림 5와 그림 6은 처리 결과를 명확하게 보이기 위하여 역하프톤된 영상을 확대한 영상이다. 그림 5는 기존의 참조표 방식

표 6. 가변적인 템플레이트를 이용한 참조표와 성능 비교

Template size	Average PSNR : LUT of [12]	Template size	Average PSNR : Proposed LUT
13	23.73dB	16	28.42dB
14	24.34dB		
15	24.65dB		
16	25.38dB		
17	25.87dB		
18	26.19dB		
19	26.25dB		
20	26.44dB		
21	26.68dB		



(a)



(b)

그림 3. (a) mandrill 연속계조 원영상. (b) 오류확산법을 이용한 mandrill 하프톤영상

과 최적선행추정을 이용하여 역하프톤된 영상의 뺨, 눈두덩이, 수염부위를 확대한 영상으로 (a), (b), (c)에서 볼 수 있듯이 고주파 성분이 많은 곳의 컬러 표현이 불분명하여 잡음이 많고 경계부분에 에일리어싱이 발생하며 전체적으로 거칠게 표현되어 있음을 알 수 있다. 그림 6은 제시한 참조표 방식과 벡터적응필터를 이용하여 역하프톤된 영상을

### III. 결 론

본 논문은 참조표와 벡터적응필터를 이용한 디지털 컬러영상의 역하프토닝 방법을 제안하였다. 하프톤영상은 원영상에 비하여 유실된 정보가 많기 때문에 추가적인 영상처리와 디스플레이장치에 출력하기가 적합하지 않다. 따라서 유실된 정보를 복원하기 위한 역하프토닝 방법이 필요하다.

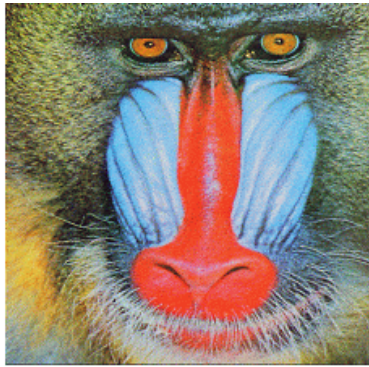
일반적으로 참조표를 이용한 역하프토닝 방법은 다양한 하프토닝 방식에 대해서 고른 성능을 가지고 추가적인 처리과정이 필요하지 않기 때문에 처리속도가 빠르다. 기존의 참조표 방식은 참조표 작성시에 21개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 각각 사용하기 때문에 메모리의 사용량이 많고 참조표를 작성하고 사용하기 위한 계산과정이 늘어나고 처리속도가 길어지기 때문에 비효율적이다. 따라서 본 논문은 참조표를 작성을 위한 계산과정을 줄여서 처리속도를 증가시키고 이용하는 메모리의 양을 감소시키기 위하여 참조표 작성시에 16개의 픽셀을 이용하고 R, G, B 각 채널의 참조표를 통합하여 각 채널에서 발생하지 않는 패턴을 상호 보완하는 참조표 방식을 제안하였다.

기존의 참조표 방식은 6048K 바이트의 메모리를 사용하고 제안한 참조표 방식은 65K 바이트의 메모리를 사용함으로 메모리 사용량이 약 1/93로 감소하였다. 참조표 작성시에 이용되는 픽셀의 수가 기존 방식의 21개에서 16개로 감소하기 때문에 계산과정이 줄어들어 처리속도가 빨라진다. 또한 작성한 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 추가처리과정이 기존의 참조표 방식은 262144개 픽셀중에서 평균 962번 발생하였고 제안한 참조표 방식은 121번 발생하였으므로 추가처리과정의 발생횟수가 제안한 참조표 방식이 약 1/8정도 더 적기 때문에 추가처리시간이 감소하여 기존방법보다 처리속도를 더욱 줄일 수 있었다. 하나의 하프톤영상에 대한 역하프토닝 평균처리시간은 기존방법이 4.65초이고 제안방법이 2.64초로 제안방법이 약 2배 빠른 처리속도를 가졌다. 참조표에 존재하지 않는 패턴에 대한 처리방법으로 벡터적응필터를 제안하였다. 벡터적응필터는 주변 픽셀의 컬러 정보를 이용하기 때문에 기존의 최량선형추정보다 컬러 복원에 더 우수한 PSNR을 가짐을 그림 6을 통해 알 수 있다.

오류확산법을 이용한 하프톤영상에 대해서 기존 방법은 참조표만을 사용한 영역의 평균 PSNR이 26.33dB이고 최적선형추정만을 사용한 영역의 평균

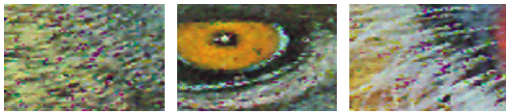


(a)

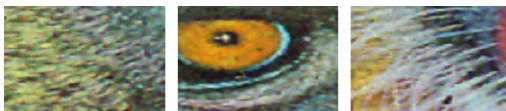


(b)

그림 4. mandrill 하프톤영상의 역하프토닝 영상.  
(a) 기존의 참조표 방식과 최적선형추정 사용.  
(b) 제안한 참조표 방식과 벡터적응필터 사용



(a) (b) (c)  
그림 5. 그림 4 (a)의 확대 영상.  
(a) 뺨. (b) 눈두덩이. (c) 수염



(a) (b) (c)  
그림 6. 그림 4 (b)의 확대 영상.  
(a) 뺨. (b) 눈두덩이. (c) 수염

확대한 것으로 그림 5와 비교하였을 때 고주파 성분이 많은 곳에 컬러 표현이 불분명한 부분이 상당히 감소하여 잡음이 적고 에일리어싱이 감소하여 윤곽이 잘 표현되며 전체적으로 부드럽게 잘 표현되어 있음을 알 수 있다. 따라서 기존의 방법보다 제안한 방법이 컬러 표현력이 더 우수함을 알 수 있다.



PSNR이 36.39dB였다. 제안방법은 참조표만을 사용한 영역의 평균 PSNR이 28.65dB이고 벡터적응필터만을 사용한 영역의 평균 PSNR이 60.35dB로써 제안방법이 참조표와 추가처리방법의 성능이 각각 2.32dB와 23.96dB 더 우수한 성능을 가졌다.

참 고 문 헌

[1] Daniel L. Lau and Gonzalo R. Arce, Modern Digital Halftoning, Marcel Dekker Inc, 2000.

[2] M. Analoui and J. P. Allebach, "New results on reconstruction of cotinuous-tone from halftone," IEEE Int. Signal Processing, Vol.3, pp.313-316, 1992.

[3] M. Y. Shen and C. -C. J. Kuo, "A robust nonlinear filtering approach to inverse halftoning," J. Vis. Commun. Image Represen, Vol.12, pp.84-95, March 2001.

[4] Y. Kim, G. Arce, and N. Grabowski, "Inverse halftoning using binary permutation filters," IEEE Trans. Image processing, Vol.46, pp.1179-1194, April 1998.

[5] J. Luo, R. de Queiroz, and Z. Fan, "A robust technique for image descreening based on the wavelet transform," IEEE Trans. Signal processing, Vol.4, pp.1296-1311, September 1995.

[6] M. Mese and P. P. Vaidyanathan, "Optimized halftoning using dot diffusion and methods for inverse halftoning," IEEE Trans. Image processing, Vol.9, No.4, pp.691-709, April 2000.

[7] M. Mese and P. P. Vaidyanathan, "Optimized halftoning using dot diffusion and methods for inverse halftoning," IEEE Trans. Image processing, Vol.9, No.4, pp.691-709, April 2000.

[8] K. N. Plataniotis, D. Androutsos and A. N. Venetsanopoulos, "Color Image Processing Using Adaptive Vector Directional Filters," IEEE Trans. Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, Vol 45, No.45,

pp.1414-1419, October 1998.

[9] 김찬수, 김용훈, 이태홍, "벡터적응필터를 이용한 컬러 역하프토닝," 한국정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용, 제 35 권, 제 3호, pp.165-168, 2008년 3월.

[10] R. A. Ulichney, Digital Halftoning. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

[11] M. Mese and P. P. Vaidyanathan, "TREE-STRUCTURED METHOD FOR IMPROVED LUT INVERSE HALFTONING," EUSIPCO, 2000.

[12] Kitamura. M and ONo.F, "Inverse Halftoning Method of Error Diffused Images Using Look-Up Table with State Reduction," IEEE CNF, 2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, pp.890-895, August 2006.

김 찬 수 (Chansu Kim)

정회원



2007년 2월 영남대학교 전자공학과 졸업  
2007년 2월~현재 영남대학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 신호처리, 영상처리

이 태 홍 (Taihong Yi)

정회원



1997년 2월 서울대학교 전자공학과 박사  
1980년 2월 서울대학교 석사  
1975년 2월 서울대학교 학사  
1976년~1979년 (주)동양정밀 중앙연구소  
1980년~1981년 (주)금성전기

기술연구소  
1981년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수  
<관심분야> 신호처리, 영상처리, 통신시스템