

인쇄 하프톤 영상에서의 워터마킹 기법 연구

변호준, 천인국

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부

A watermarking method for printed halftone images using multiple dithering patterns

Ho-Jun Byun, In-Gook Chun

*Division of Information Technology Engineering, Engineering College,
Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea*

요 약

본 논문은 그레이 스케일 인쇄 영상의 저작권을 보호할 수 있는 워터마킹 기법에 관한 연구이다. 기존의 인쇄영상 워터마크 기법은 순서 디더링(ordered dithering)을 이용하는 까닭에 인쇄영상의 화질 감소가 발생한다. 본 연구에서는 영상 하프토닝 기법중 오류 확산(error diffusion) 알고리즘을 이용하여 화질을 개선한 영상내에 워터마크를 삽입한다. 제안된 알고리즘은 Hagit이 제안한 순서 디더링 셀 집합을 사용한 워터마크를 오류확산 하프토닝 이미지에 삽입함으로써 영상의 시각적인 화질 감소가 없을 뿐만 아니라, 프린터와 스캐너에 의한 영상의 변형에도 워터마크의 삽입과 추출이 가능하다. 제안된 알고리즘으로 워터마킹하는 경우 스캐너와 프린터의 기기적 인 특성에서 나타나는 잡음과 회전에도 강한 워터마크를 삽입하고 추출할 수 있다.

1. 서 론

최근 개인용 컴퓨터의 보급 확대와 인터넷의 발달로 인하여 영상, 음성, 비디오 등의 멀티미디어 데이터가 급격히 증가하고 있다[1]. 멀티미디어 표현물의 상업적 가치가 증가되고, 각종 멀티미디어 데이터들이 네트워크와 인터넷을 통해서 분배, 복제되어 이들의 저작권을 보호할 필요성이 증대되고 있다[2]. 또한 디지털 데이터의 불법복

본 연구는 한국과학재단 지정 순천향 대학교 차세대BIT무선부품연구센터(R12-2002-052-04004-0)의 지원에 의한 것입니다.

제 및 변조 등에 대한 문제가 발생하게 되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에 디지털 데이터의 내부에 정보를 은닉하여 멀티미디어 데이터의 저작권을 보호(copyright protection)할 수 있는 연구가 활발히 진행되고 있다[3]. 워터마킹은 인간의 시각으로는 지각할 수 없는 소유권정보를 디지털 데이터에 삽입함으로써 소유권 인증을 제시하여 주는 방법이다. 디지털 워터마크 기법은 최근 수 년 동안 디지털 멀티미디어 데이터에 대해 올바른 저자를 확인시켜 주는 저작권 보호 방법으로 제안되어 왔다.

워터마킹 기법은 공간 영역 기법과 주파수 영역 기법으로 분류할 수 있다. 공간 영역 기법은 영상에서 선택된 화소의 밝기나 색상을 직접적으로 수정하는 방식으로 워터마킹이 이루어진다. 주파수 영역에서의 워터마킹은 영상을 주파수 영역으로 변환한 후, 변환된 계수 값을 변경하는 방식으로 이루어진다. 이처럼 디지털 영상에 대한 워터마크는 활발히 연구되고 있는 반면에 인쇄 영상에 대한 디지털 워터마킹 연구는 그다지 활발하지 않았다. 최근에 연구된 Hagit의 인쇄 영상의 워터마킹 기법은 순서 디더링(Ordered dithering)을 이용하는 까닭에 원래의 영상보다 많은 잡음을 가지게 된다. 많은 잡음을 지닌 디더링 영상은 필연적으로 영상의 화질을 떨어뜨린다. 본 논문은 기존의 순서 디더링을 이용한 워터마킹 알고리즘보다 화질저하가 없고, 프린터나 스캐너의 잡음과 회전에 강한 인쇄 영상에서의 워터마킹에 관한 연구이다.

2. 관련 연구

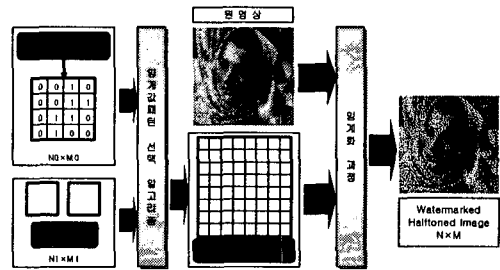
본 장에서는 하프토닝 워터마킹 기법을 크게 두 가지의 워터마킹 기법으로 분류하여 그 내용을 간략히 알아본다.

1. 다중 디더패턴 알고리즘

지금까지 연구된 하프토닝 영상에 대한 워터마킹은 디더링 임계치 패턴을 이용하여 워터마크 신호를 삽입하는 방법, 삽입할 워터마크 신호와 비슷한 양자화 잡음(quantization noise)을 이용하는 방법과 다중 디더링(multi-level dithering)을 이용하여 영상을 디더링 하면서 워터마크를 삽입하는 방법이 있다. 그중 Hagit이 제안한 방법은 한 영상에 두 가지의 디더셀 패턴을 적용하고 임계치 패턴을 생성후, 순서 디더링(ordered dithering)을 수행하여 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그림1은 Hagit 방법의 워터마킹 삽입 다이어그램을 나타내고 있다.

Hagit의 워터마크 삽입 알고리즘은 우선 이진수로 된 워터마크 비트를 $N0 \times M0$ 열의 이차원 배열로 재배치 하고 제안한 두 가지의 $N1 \times M1$ 열의 디더셀 패턴으로부터 선택 알고리즘에 따라 $N0 \cdot N1 \times M0 \cdot M1$ 열의 임계치 패턴(thresholding pattern)을 생성한다. 만들어진 임계치 패턴과 원

영상을 임계화(thresholding) 과정을 거쳐 하프토닝된 워터마킹 이미지가 생성된다. 추출 알고리즘은 워터마크가 삽입된 하프토닝 이미지의 임의의 지역을 $N0 \times M0$ 열만큼 선택하여 평균 그레이 명도를 계산한다.



[그림 1] Hagit 방법의 워터마킹 삽입 다이어그램

명도에 따라 다시 두 개의 디더 패턴을 적용하여 디더링을 수행하여 워터마크 비트와 가장 유사도가 높은 패턴을 선택하여 워터마크를 결정한다. 워터마크를 결정하는 가장 중요한 요소는 디더셀이다. 디더셀의 집합을 선택할 때 다음 문제와 표준을 고려하여 따라야 한다. 첫째, 디더셀들은 모든 컬러와 그레이 레벨을 위한 서로 다른 하프톤 패턴이 생성되어야 한다. 둘째, 디더셀들은 시각적으로 연속성을 갖고 있는데 예를들면 윤곽과 모서리는 서로 다른 디더셀들의 타일링 때문에 보이지 않을 것이다. 셋째, 디더셀은 대응하는 임계값을 가지게 된다. 디더셀 집합에 임계값들은 비슷할 것이다. 다시말해 한개의 디더셀에 주어진 임계값의 위치는 다른 디더셀의 임계값 위치로부터 멀어지지 않는다. Hagit 알고리즘의 워터마크 삽입은 간단한 장점이 있는 반면 워터마크 추출시 워터마크가 삽입된 영상의 영역을 신중하게 선택해야 한다. 만약 추출할 워터마크의 영역이 잘못 선택될 경우 워터마크의 정확도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한 이미지를 임계치 패턴으로 블록화 하여 모든 영역에 대해 워터마크를 삽입하였기 때문에 영상의 일그러짐을 확인할 수 있었다. 따라서 워터마크의 비가시성을 만족해 주지 못했다.

2. 직접 픽셀 변경 방법(iterative halftoning methods)

프린트 워터마크의 또 다른 방법은 하프토닝 이미지의 픽셀값에 직접적으로 접근하여 수정하는 것이다. 삽입되는 워터마크 데이터의 양이 많은 장점이 있다. 직접 하프토닝(iterative halftoning) 기법중 DBS(Direct Binary Search)를 사용하는 워터마킹 기법이다. DBS는 검색기반의 하프토닝 기법으로 다른 하프토닝 기법들보다 더 우수한 화질을 얻을 수 있다. 최근에 제안된 방법은 임의의 워터마크 픽셀을 사용하여 하프토닝 이미지에 삽입한다. 워터마크가 삽입될때의 잡음을 제거 하기 위한 알고리즘도 병행해서 수행된다. 워터마크 추출도 역시 픽셀단위로 접근하게 되는데 이 알고리즘은 픽셀 단위로 접근이 가능하기 때문에 외부의 공격에 강인하다는 장점이 있다. 그러나 계산량이 많기 때문에 오차 확산법과 비교하여 10배 정도 느리다는 단점이 있다. 따라서 프린팅 어플리케이션에서 아주 느리게 동작할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 계산량이 적고 빠른 순서 디더링(ordered dithering)을 사용하여 워터마크 비트를 삽입한다.

III. 워터마킹시스템의 설계 및 구현

본 절에서는 제안한 프린트 워터마크의 삽입과 추출 과정에 따른 세부적인 사항들을 살펴보도록 한다.

1. 워터마크의 삽입

기존의 다중 디더셀을 사용한 방법은 삽입될 워터마크 블록을 결정하는 그레이 명도값을 원영상이 아닌 하프토닝 영상에서 계산하였다. 0과 255 값으로 이루어진 하프토닝 이미지는 원영상(그레이 스케일)이미지를 표현하는데 한계가 있다. 이에 따라 원영상의 명도값의 임계치를 벗어나면 워터마크의 추출율이 감소하는 문제점이 있었다.



[그림 2] 워터마크 삽입 다이어그램

원영상에 적용된 순서 디더링의 디더셀을 달리 하더라도 결과영상이 거의 구별이 되지 않기 때문이다. 이는 Hagit이 제안했던 알고리즘의 취약점이기도 하다. 제안한 방법은 워터마크를 삽입하기 전에 랜덤하게 선택된 블록에 대하여 적합도 검사를 실시한다. 블록 적합도 테스트(block fitness test)란 블록 픽셀 값의 명도 분포를 조사하여 워터마크를 삽입하기 적합한지, 적합하지 않은지를 판단하는 것이다.

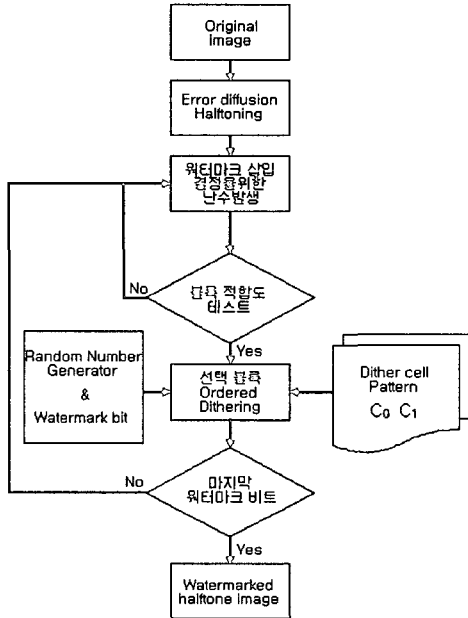
방법은 워터마크를 삽입할 블록의 평균 명도값을 계산하여 평균 명도값이 임계치 이상이거나 이하이면 그 블록에는 워터마크를 삽입하지 않는 것이다. Hagit의 알고리즘과 같이 임계치 패턴에 의해 워터마크를 삽입하면 공격에 그만큼 취약할 수밖에 없다. 이를 개선하기 위하여 워터마크 신호를 이미지의 영역에 랜덤하게 분포시킴으로서 외부 공격에 대비한다. 생성된 하프토닝 영상을 8x8 블록으로 분할한 뒤 랜덤 신호에 의해 워터마크를 삽입한다. 워터마크는 Hagit이 제안한 선택 디더셀의 집합이 C0과 C1일때 각각 0과 1의 워터마크 신호로 매칭된다. 삽입되는 워터마크에 따라 랜덤 신호에 의하여 영상에 워터마크 신호가 분포하게 된다.

51	27	6	46	59	12	54	7	17	57	38	5	21	55	26	53
18	63	40	23	0	42	24	33	41	8	28	52	39	10	43	4
2	34	11	49	31	15	61	47	62	22	44	13	32	60	20	28
55	26	53	17	57	38	5	21	9	50	3	58	25	1	48	36
10	43	4	41	8	28	52	39	18	30	37	19	45	35	14	56
60	20	28	62	22	44	13	32	6	46	59	12	54	7	51	27
1	48	36	9	50	3	58	25	40	23	0	42	24	33	16	63
36	14	56	18	30	37	19	45	11	49	31	15	61	47	2	34

[그림 3] 제안한 8x8 디더셀

마지막 단계로 선택된 블록이 적합도 검사를 통과하면 그 블록에 워터마크 비트를 삽입하게 된

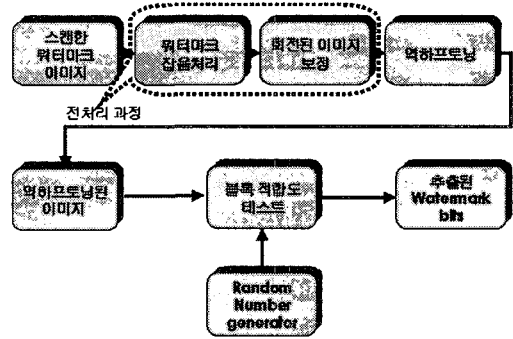
다. 모든 워터마크 비트가 삽입될 때까지 이 과정을 되풀이한다.



[그림 4] 워터마크 삽입 알고리즘

다. 워터마크 추출

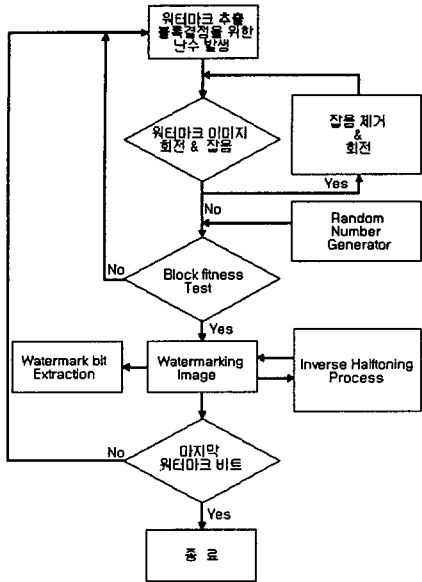
제한한 워터마크의 추출 알고리즘은 워터마크된 영상의 디더셀 패턴을 알아냄으로써 추출된다. 즉 워터마크 삽입자와 추출자만이 알고 있는 비밀키 값을 적용하여 난수를 생성하고 해당되는 위치의 블록을 디더셀 집합인 C_0 와 C_1 을 이용하여 판별하고 워터마크 삽입 알고리즘에 적용된 순서 디더링을 수행한다. C_0 와 C_1 을 이용하여 디더링한 결과를 원래의 디더링 영상과 비교하여 일치하는 비트가 더 많은 디더링 패턴을 결정하고 이 패턴에 따라 워터마크 비트가 결정된다. 그림 6은 워터마크 추출 다이어그램을 보여준다.



[그림 5] 워터마크 추출 다이어그램

우선 워터마크가 들어있는 이미지의 예상되는 블록에 대하여 워터마크 삽입시에 사용했던 두 개의 디더링 패턴 C_0 와 C_1 을 모두 적용시켜 보는 것이다. 즉 디더링 행렬 C_0 와 C_1 을 모두 적용하여 각각 디더링 결과를 얻은 다음, 이들을 원래의 디더링된 영상과 비교하는 것이다. 두 개의 디더 행렬을 워터마크된 블록에 적용하여 더 유사한 결과를 갖는 디더 행렬을 선택하여 워터마크 비트를 결정한다. 디더링 행렬 C_0 의 디더 행렬의 유사도가 높으면 워터마크 비트는 0, C_1 면 워터마크 비트는 1이다. 즉 워터마크 추출 기준은 8×8 블록 안에서 얼마나 많은 픽셀값이 일치하는지를 기준으로 한다.

기존의 방법에서는 워터마크 삽입을 이미지의 모든영역에 대하여 생성된 임계치 패턴을 적용하였고, 워터마크 추출시에 워터마크가 삽입된 영상의 임의의 블록을 설정하고 0과 255값으로만 이루어진 블록에 대해 평균 명도를 측정하여 이에 C_0 와 C_1 의 두개의 디더셀을 적용하여 유사도가 높은 패턴을 워터마크 비트로 결정하였다. 기존의 삽입 알고리즘은 워터마크의 비가시성을 떨어뜨리고, 추출 알고리즘은 워터마크가 삽입된 영상으로부터 임의의 영역에 대하여 워터마크를 추출해야 함에 영역선택에 신중함이 요구된다. 그림 7은 워터마크 추출 알고리즘을 보여주고 있다.



[그림 6] 워터마크 추출 알고리즘

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 여러 가지 실험을 하였다. 크게 세 부류로 나누어 실험을 하였는데, 원영상과 제안한 역하프토닝 기법의 PSNR을 측정하여 기존의 방법과 비교하였고, 제안한 알고리즘을 적용한 워터마크의 검출율과 프린터와 스캐너 사용시 발생할 수 있는 공격에 대한 워터마크 검출을 실험을 수행하였다. 실험 환경은 다음과 같다.

CPU: Pentium IV 1.4Ghz
 OS: Windows XP
 Testing Tool: Visual C++ 6.0
 실험 영상의 크기: 256×256

1. PSNR 측정

역하프토닝이 수행된 영상으로부터 블록 적합도를 수행하여 워터마크를 추출하는 과정을 통하여 정확한 워터마크를 추출할 수 있다. 원영상과 각각의 알고리즘으로 수행된 역하프토닝 영상의 유사도를 측정하여 제안한 알고리즘이 개선되었음을 증명하였다. 실험은 4가지 256×256 이미지에 대하여 수행하였으며 32bit의 워터마크를 삽입한 하

프토닝 이미지를 Hagit 알고리즘과 제안한 알고리즘으로 하프토닝 한 후, 복원영상의 객관적인 화질평가를 나타내는 PSNR(peak signal-to-noise ratio)으로 원영상과 역하프톤이 영상을 비교 측정하였다. PSNR은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다. 그림 4.1 PSNR 계산식을 나타내고 있다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [f(i, j) - f'(i, j)]^2}$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right)$$

그림 4.1 PSNR 계산식

$f(x, y)$ 및 $f'(x, y)$ 는 각각 원 영상의 화소 및 복원영상의 화소를 나타내며, N 은 각 영상내의 화소수이다. 실험결과 두가지 방식 모두 하프토닝으로 생성된 의사잡음에 의해서 수치(dB)가 많이 감소하였다. 워터마크 블록의 삽입도 PSNR 수치를 감소시킨 요인이라 볼 수 있다. Hagit의 알고리즘을 이용한 워터마크 하프토닝 기법은 제안한 방법에 비해 PSNR 값이 3~9(dB)정도 감소하였다. 이는 제안한 방법의 하프토닝 기법의 화질이 더 우수하다는 것을 증명한다. 표4.1은 실험결과를 나타내고 있다.

이 실험에서는 서로 다른 기법으로 워터마킹을 수행한 하프토닝 영상으로부터 역하프토닝을 수행하여 원영상과 그 결과를 PSNR 측정식으로 계산하였다. 일반적으로 영상에 대한 PSNR의 측정치가 25db 이상이면 좋은 결과라 할 수 있다. 실험결과 기존의 Hagit에 의한 임계치 패턴에 의한 방법이 제안한 방법에 비해 화질이 현저히 떨어짐을 볼 수 있었다. 평균 9db의 PSNR 값의 차이가 있었다.

실험방법 256×256 image	Watermar k bit (a)	PSNR (dB)	
		Hagit 알고리즘	제안한 알고리즘
Lenna	32 bit	16.88	25.62
Reagan		19.37	27.12
Baboon		21.11	24.17
Pepper		15.61	21.24

표 1 원영상과 역하프토닝 영상의 PSNR 결과

2. 검출율 측정

워터마크 검출을 실험을 위하여 32bit의 워터마크를 생성하였다. 기존의 Hagit이 제안한 방법과 제안한 방법으로 워터마크를 삽입하고 워터마크 배열을 검출한 결과를 평가한다.

실험방법 256×256 image	Watermar k bit (a)	Hagit 알고리즘		제안한 알고리즘	
		검출bit 수 (b)	b/a (%)	검출bit 수 (c)	c/a (%)
Lenna	32 bit	20	62.00	27	84.37
Fishingboat		23	71.85	30	93.75
Baboon		23	71.85	29	90.62
Butterfly		21	65.62	28	87.50

표 4.2 워터마크 추출 결과표

실험결과 Hagit의 방법에서의 추출 방법은 모든 이미지에 임계치 패턴을 씌워 임의의 영역에 접근하여 워터마크를 추출하는 방법이기 때문에 워터마크패턴이 눈에 잘 띄었다. 제안한 방법보다 스캔하여 잡음이 첨가 되었을때 검출율이 20~30%가 감소하였다. Hagit의 방법은 워터마크 추출시 추출하고자 하는 영역의 선택이 중요하므로 잘못된 택시에 추출율이 현저히 감소함을 볼수 있다. 따라서 검출율에 있어서 제안한 방법이 기존의 방법보다 개선되었음을 알 수 있었다.

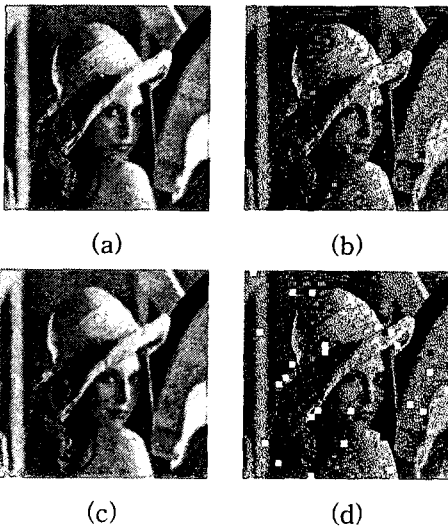


그림 4.2 (a)원영상, (b)워터마크 영상,

- (c)역하프토닝 영상,
- (d)추출된 워터마크

6. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 역하프토닝을 이용한 이진 인쇄영상을 위한 워터마킹을 위한 알고리즘을 구현하였다. 오류확산(Error diffusion)알고리즘을 이용하여 하프토닝 영상의 화질을 개선하였고, 외부공격에 대응할 수 있게 랜덤 신호에 의해 워터마크블록을 삽입하였다. 워터마크 추출시에는 워터마크가 삽입된 하프토닝 이미지를 역하프토닝하여 그레이스케일 영상으로 복원을 시도하여 그레이밍도값에 대한 임계치를 적용하여 워터마크 추출이 더욱 정확하도록 하였다. 그 결과 Hagit알고리즘의 워터마크 삽입, 추출의 문제점과 잡음과 스케너로 인한 이미지 회전에 대한 문제점을 개선하였다.

[참고문헌]

- [1] F. A. P. Petitcolas, R. j. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information hiding - A survey," Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1062-1078, Jul. 1999.
- [2] M. D. Swanson, M. Kobayashi, and A. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," Proc. of IEEE, vol. 86, no.6, pp. 1064-1097, 1998
- [3] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. Tewfik, "Data Hiding for Video and Other Applications," IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol. 3, pp. 211-214, 1997
- [4] R. Ulichney, "Dithering with Blue Noise". Proceedings of the IEEE, vol. 76(1), pp. 56-79, 1998.
- [5] Hagit Z. Hel-Or, "Copyright labeling of printed images", IEEE International Conference on Image Processing, vol.3, pp.702-705, 2000.