

영상특성에 기반한 통계적 판정법을 이용한 적응 워터마크 검출 알고리즘

황의창*, 김희정*, 김현천**, 김종진**, 권기룡*
*부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과, **부경대학교 전자정보통신공학부

Adaptive Watermark Detection using Stochastic Decision Rule Based on Image characteristics

Eui-Chang Hwang*, Hee-jung Kim*, Hyun-Chun Kim**, Jong-Jin Kim**, Ki-Ryong Kwon*
Dept. Electronic and Computer Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies
**Division of Elec. and Telecomm. Eng., Pukyong National University

요 약

본 논문에서는 웨이브릿 영역에서 HVS 및 NVF 함수를 사용하여 영상특성에 기반한 통계적 판정법을 이용한 적응 워터마크 검출 알고리즘을 판정법을 제안한다. 워터마크는 4레벨로 분해된 웨이브릿 영역에서 JND(just noticeable difference) 특성과 NVF(noise visibility function)를 이용한 통계적 특성을 기반으로 정상상태 가우시안 모델에 따라 지각적 동조 특성을 이용하여 적응적으로 삽입하고, Bayes 이론 및 Neyman-Pearson 정리를 이용한 통계적 판정법을 이용하여 워터마크를 추출함으로써 기존의 통계적 판정법 보다 정확하게 워터마크 존재 유무를 판정 할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

오늘날 무분별한 디지털 정보의 무단 복제의 남용으로 인해 저작권의 침해라는 큰 문제점을 낳고 있다. 따라서 이러한 저작권 보호를 위해 디지털 워터마크 기술이 발전되었다. 이러한 디지털 워터마킹에서 필요로 하는 요구조건이 있는데 이는 비가시성과 견고성을 들 수 있다. 이들 특성은 상호 trade-off 관계에 있는데 이들 사이에서 최적의 알고리즘을 구현하는 것이 중요하다. 견고성의 평가를 위해 정확히 하기 위해 워터마크 검출 알고리즘 개발이 중요하다.

Voloshynovskiy 등[1]은 내용적용 디지털 워터마크를 구현하기 위하여 통계적 모델링 기법을 제안하였다. Podilchuk 등[2]은 HVS(human visual system)를 이용한 방법을 제시하였다. 웨이브릿 기반에서 효과적인 영상 압축을 위한 JND값을 문턱값으로 사용하고 이보다 큰 계수들에 대해서만 삽입한다. 그 JND값을 그 부대역의 삽입강도로 사용된다. Kwon 등[3]은 멀티웨이브릿 변환 영역에서 SSQ와 비정상상태 모델에 대한 지각특성을 갖는 워터마킹 기법을 제안하였다. Watson 등[4]은 웨이브릿 기반 영상 압축에 지각적 양자화와 지각적 비트 할당을 위한 주파수감응(frequency sensitivity) 문턱값을 제안했다. Kwon 등[5]은 DWT 영역에서 통계적 판정

법을 이용한 고신뢰 워터마크 검출 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 워터마크 존재에 대한 변별력이 우수한 우도비(likelihood ratio)를 워터마크 검출의 척도로 이용하였다.

본 논문에서는 웨이브릿 영역에서 HVS 및 NVF 함수를 사용하여 영상의 에지와 텍스처 영역과 평탄 영역을 구분하여 영상특성을 이용한 통계적 판정법을 이용하여 삽입된 적응 워터마크에 대한 검출 알고리즘을 제안한다. 제안한 워터마크 검출 방법은 웨이브릿 영역에서 영상에 적응적으로 워터마크 삽입 개수를 선택하여 에지와 텍스처 영역과 평탄 영역에 삽입강도를 적응적으로 삽입한 영상에 대해 검출하였다.

제안한 방법의 견고성의 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 특성을 가지는 Lena, Baboon 등의 실험 영상에 대해 StirMark 3.1 벤치마크 테스트에 근거하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 적응 워터마크 검출은 통계적 판정법을 이용하여 검출할 때 더 정확하게 워터마크의 존재 유무를 판정할 수 있었다.

2. 적응 워터마크 검출 알고리즘

1. 워터마크 삽입

워터마크는 웨이브릿을 이용해 HVS의 및 통계적

판정법 특성과 NVF 함수를 적용한 워터마크 삽입한다. 본 논문에서는 국부 영상 특성을 갖는 NVF에 따라 선택된 PSC의 통계적 특성에 따른 NVF를 계산해서 지각 모델로 사용한다. 최적의 NVF를 결정하기 위해 정상상태 일반화 가우시안 모델로 워터마크를 추정해서 분해된 웨이브릿 계수에 삽입하는 방법이다. 정상상태 일반화 가우시안 모델을 갖는 NVF는 식 (1)과 같다.

$$NVF(i, j) = \frac{\omega(i, j)}{\omega(i, j) + \sigma^2(i, j)} \quad (1)$$

여기서 $\sigma^2(i, j)$ 는 영상의 분산을 나타내고, $\omega(i, j)$ 는 가중치를 나타낸다. 그림 2는 제안한 적응적 워터마크 모델의 블록도이다.

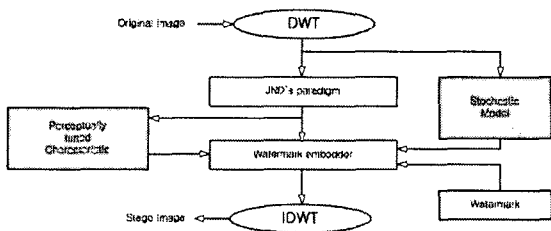


그림 1 적응 워터마크 삽입 알고리즘

워터마크의 삽입은 먼저 영상을 4레벨로 분해한 다음 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 기저대역은 화질의 열화를 고려하여 삽입에서 제외하고 고주파 부대역들 중 최고주파 부대역은 공격에 약하므로 삽입에서 제외시키고 나머지 부대역에 대해서만 문턱값으로 레벨과 방향성에 대한 각 부대역내의 PSC를 판단한다. 워터마크는 식 (2)에서와 같은 방법으로 원영상의 웨이브릿 계수의 크기에 비례하여 곱의 형태로 삽입함으로써 견고성과 비가시성을 높였다.

$$x' = x \times [1 + \{(1 - NVF) \cdot \alpha_1 + NVF \cdot \alpha_2\} \cdot w_i] \quad (2)$$

위 식 (2)에서 x 와 x' 는 각각 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 나타내고, w_i 는 가우시안 랜덤 분포를 갖는 시퀀스로 실제 영상에 삽입되는 워터마크이다. NVF는 앞에서 계산된 값들을 사용한다. α_1 은 0.3으로 에지와 텍스처 영역의 삽입 강도이고 α_2 는 0.016으로 평탄 영역의 삽입 강도이다. 이 방법은 워터마크의 강도를 각 부대역의 특징에 맞게 하여 화질의 열화를 유지시키면서 강인성을 증가시키려는 목적으로 각 영역마다 다른 삽입강도를 제안하였다.

2. 적응 워터마크 검출

워터마크 검출은 Kwon 등[5]이 제안한 통계적 판정법을 이용하였다. 이 방법은 신뢰성 있는 검출 척도로 Bayes 판정 이론[6]에 의한 우도비를 사용하고, 판

정 오류를 최소화할 수 있는 판정 문턱값의 설정을 위하여 Neyman-Pearson 정리[7]를 이용한다. 이때 우도비에는 웨이브릿 계수의 분포가 필요한데, 이를 가우스 분포로 모델링 한다.

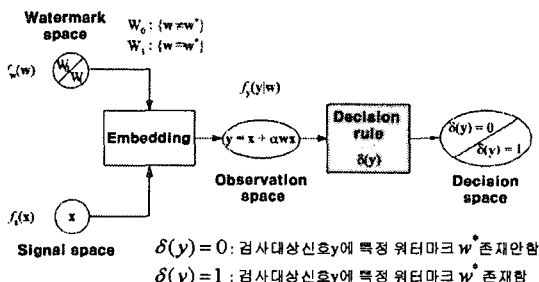


그림 2 적응 워터마크 검출 알고리즘

그림 2는 적응 워터마크 검출 알고리즘이다. 여기서 워터마크 공간 (watermark space)은 검사할 워터마크 w^* 를 나타내는 W_1 공간 및 이를 포함하지 않는 W_0 공간으로 구성된다. 또한 신호 공간 (signal space)은 워터마크가 삽입될 DWT 계수들의 집합을 나타낸다. 관찰 공간 (observation space)은 검사 대상 신호 y 의 집합을 나타내고, y 를 제한한 판정 규칙 $\delta(y)$ 에 적용함으로써, 이에 대한 특정 워터마크의 존재 유무를 판정한다. 그리고 판정 공간 (decision space)은 판정 규칙을 대상 신호에 적용함으로써 발생한 결과들로 구성된다. 그림 3은 제안한 판정규칙 흐름도를 나타내었다.

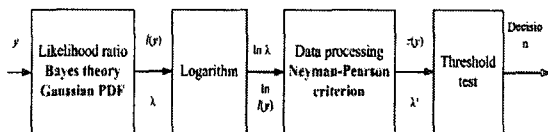


그림 3 제안한 판정규칙 흐름도

적용 검출 알고리즘에서는 Bayes 판정 이론에 의하여, 대상 신호에 워터마크가 삽입되었다고 가정할 경우의 대상 신호에 대한 PDF와 삽입되지 않았다고 가정할 경우의 대상 신호에 대한 PDF의 비를 우도비로 설정한다. 이때 우도비에는 워터마크가 삽입될 웨이브릿 계수들의 PDF가 필요한데, 제안한 알고리즘에서는 실제 멀티웨이브릿 계수들의 분포와 가장 유사한 분포 특성을 가지는 가우스 분포로 이들의 PDF를 모델링 한다. Bayes 판정 이론에 의한 우도비 $l(y)$ 는 식 (3)과 같다. 식 (3)을 간단히 표현하기 위하여 양변에 로그를 취하여 로그 우도비 $\ln l(y)$ 를 식 (4)에 나타내었다. 로그 우도비와 비교되는 판정 문턱값은 $\ln \lambda$ 가 된다. 이때 $z(y)$ 및 λ' 을 식 (5)와 (6)에 나타내었다.

$$l(y) =$$

$$\prod_{i=1}^N \frac{1}{1+aw_i^*} \cdot \exp \left[\frac{(y_i - m_i)^2}{2\sigma_i^2} - \frac{\left(\frac{y_i}{1+aw_i^*} - m_i \right)^2}{2\sigma_i^2} \right] \quad (3)$$

$$\ln l(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{(y_i - m_i)^2}{2\sigma_i^2} - \frac{\left(\frac{y_i}{1+aw_i^*} - m_i \right)^2}{2\sigma_i^2} \right] - \sum_{i=1}^N \ln(1+aw_i^*) \quad (4)$$

또한 기존의 알고리즘에서와 같이 허위 검출 확률 및 간과 검출 확률을 동시에 최소화하는 판정 문턱값 대신, 최대 허용 허위 검출 확률에 대하여 간과 검출 확률을 최소화하는 판정 문턱값을 설정하기 위하여 Neyman-Pearson 정리를 이용한다.

$$z(y) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{2\sigma_i^2} \left[(y_i - m_i)^2 - \left(\frac{y_i}{1+aw_i^*} - m_i \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$\lambda' = 4.24\sqrt{2\sigma_{z(x)}^2} + m_{z(x)} \quad (6)$$

위 식(5)에서 m_i 및 σ_i^2 은 각각 x_i 가 속한 부대역의 웨이브릿 계수들의 평균 및 분산을 나타내고 y_i 는 워터마크가 삽입된 계수를 나타낸다. 식(6)에서 $m_{z(x)}$ 및 $\sigma_{z(x)}^2$ 은 x_i 에 대한 확률밀도함수의 평균 및 분산을 나타낸다.

$$\delta(y) = \begin{cases} 1, & z(y) > \lambda' \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

따라서 워터마크 검출 알고리즘에서의 최종 판정 규칙은 식 (7)과 같이 $z(y)$ 와 λ' 을 비교함으로써 워터마크의 존재를 판정한다.

3. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 특징들을 비교하기 위해 실험 영상은 512×512 크기의 그레이 스케일을 갖는 Lena와 Baboon 영상 등을 사용하였다.

먼저 웨이브릿 영역으로 영상을 4레벨로 분해한다. 각 부대역 문턱값을 이용해 PSC들을 찾는다. 그리고 계수들의 정상상태 일반화 가우스 모델의 NVF를 계산한다. 선택된 PSC에 계산된 NVF와 에지와 텍스처 영역과 평탄 영역에 다른 삽입강도를 적용시켜 워터마크를 삽입한다.



그림 3. Lena 와 Baboon의 원영상



그림 4. 워터마크가 삽입된 영상

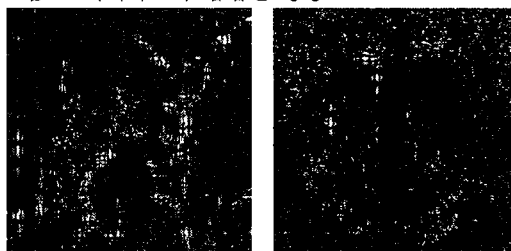


그림 5. 추출된 워터마크 영상

그림 3 및 4는 Lena와 Baboon의 원영상과 워터마크가 삽입된 영상을 나타내었다. 그림 4에서 워터마크를 삽입하였음에도 불구하고 화질의 열화가 없음을 확인할 수 있다. 이는 시각적으로 둔감한 에지와 텍스처 영역에 평탄 영역보다 강하게 워터마크를 삽입하여 영상에 적응적으로 삽입되었기 때문이다. 그림 5는 추출된 워터마크를 나타내었다.

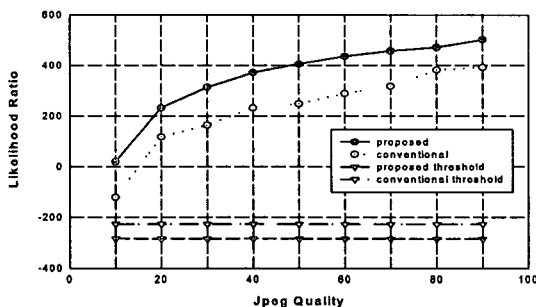


그림 6. Lena 영상의 Likelihood Ratio

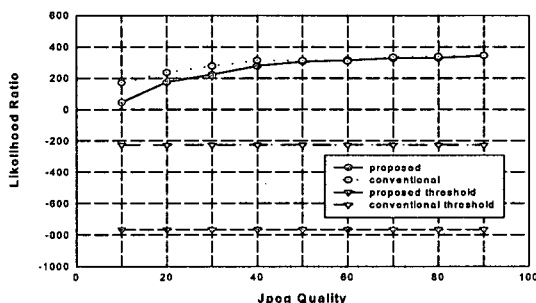


그림 7 Baboon 영상의 Likelihood Ratio

제안한 방법은 웨이블릿 변환 영역에서 삽입강도를 0.3으로 일정하게 하여 5000개의 워터마크를 삽입해서 통계적 판정법을 이용해 워터마크를 검출하는 방법과 비교하였다. 그림 6과 7은 Lena 영상과 Baboon 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 우도비를 나타낸 것이다. 제안한 방법이 고정된 워터마크를 삽입한 방법보다 더 정확하게 워터마크 존재 유무를 판정할 수 있었다. 다음 표 2와 3은 일반적인 영상처리에 대한 비교를 보여 주고 있다. 일반적인 영상처리에서도 제안한 방법이 우수함을 확인할 수 있다.

표 2. Lena 영상의 일반적인 영상처리 비교

Attack	Threshold		Likelihood	
	proposed	conventional	proposed	conventional
Gaussian	-284.82	-227.49	267.43	144.45
Sharpening	-283.68	-226.68	525.96	493.71
Median	-284.94	-227.63	267.47	86.56
FMLR	-284.06	-226.91	403.73	201.34

표 3. Baboon 영상의 일반적인 영상처리 비교

Attack	Threshold		Likelihood	
	proposed	conventional	proposed	conventional
Gaussian	-776.09	-226.74	179.86	192.49
Sharpening	-766.32	-226.60	-7.93	62.80
Median	-765.46	-226.46	143.79	262.50
FMLR	-766.23	-226.78	390.05	385.55

그림 8은 워터마크가 삽입된 영상을 JPEG 압축률 50%로 압축 한 후 잘라내는 비율을 10~90%로 변화

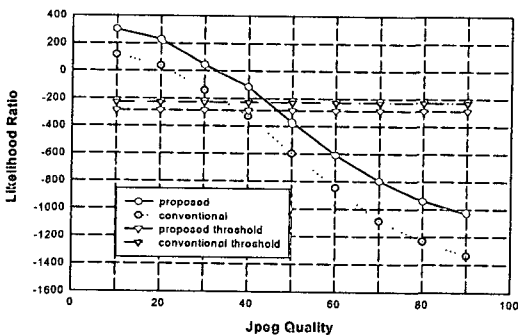


그림 8. JPEG Q-factor 50%에서의 Cropping 실험 시키는 복합공격에 대한 우도비를 나타내었다. 그림 8과 같이 기하학적 공격과 손실압축이 복합된 공격에

서도 워터마크가 정확히 검출되는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 웨이블릿 영역에서의 HVS 및 NVF 함수를 사용하여 영상의 에지와 텍스처 영역과 평탄 영역을 구분하여 영상특성을 이용한 통계적 판정법을 이용하여 삽입된 적응 워터마크에 대한 더욱 정확한 검출 알고리즘을 제안하였다. 워터마크가 삽입되는 PSC는 JND 특성에 따라 선택하였고 통계적 다해상도 특성을 이용하여 정상상태 일반화 가우시안 모델에 따라 NVF를 계산하였다. NVF 계산에 의해 에지와 텍스처 영역과 평탄 영역에 삽입 강도를 적용하여 견고성과 비가시성을 높일 수 있었다. 적응 워터마크 검출을 위한 통계적 판정법이 고정된 삽입 강도에 의한 워터마크 검출 알고리즘 보다 더 정확하게 워터마크 존재 유무를 판정할 수 있었다.

이 논문은 2003년도 Brain Busan 21사업에 의하여 지원되었음.

[참고문헌]

- [1] S. Voloshynovskiy, A. Herrigel, N. Baumgaertner, and T. Pun, "A Stochastic Approach to Content Adaptive Digital Image Watermarking," Third Information Hiding Workshop, 1999.
- [2] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image Adaptive Watermarking Using Visual Models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 16, no. 4, pp.525-539, May 1997.
- [3] K. R. Kwon, S. G. Kwon, J. H. Nam, and A. H. Tewfik, "Content Adaptive Watermark Embedding in the Multiwavelet Transform Using a Stochastic Image Model," in IWDW, pp. 293-304, Nov. 2002.
- [4] A. B. Watson, G. Y. Yang, J. A. Solomon, and J. Villasenor, "Visual thresholds for Wavelet Quantization Error," Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging, vol. 2657, pp. 381-392, 1996.
- [5] S. G. Kwon, S. H. Lee, K. R. Kwon, and K. I. Lee, "Watermark Detection Algorithm in Multimedia Using Statistical Decision Theory," SPIE 2003, Security and Watermarking of Multimedia Contents 5020-33, Jan. 2003.
- [6] L. Scharf, Statistical Signal Processing: Detection, Estimation, and Time Series Analysis. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.
- [7] J. Franco and W. Rubin, Radar Detection. Norwood, MA: Artech House, 1980.