

멀티웨이브릿 변환 기반에서 지각적 동조 모델을 이용한 적응 데이터 은닉

유상욱*, 윤재식*, 장봉주*, 조영웅*, 문광석**, 권기룡*
*부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과, **부경대학교 전자정보통신컴퓨터공학과

Adaptive Data Hiding Using Perceptually Tuned Model Based on Multiwavelet Transform

Sang-Wook Yoo*, Jae-Sic Youn*, Bong-Ju Jang*, Young-Ung Jo*,
Kwang-Seok Moon**, Ki-Ryong Kwon*

*Department of Electronic and Computer Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies
**Division of Electronic and Telecommunication Eng., PuKyong National Univ.

요 약

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 스토캐스틱 모델과 지각적 동조특성을 이용한 적응 디지털 워터마크 은닉 방법을 제안한다. 워터마크는 4레벨로 분해된 멀티웨이브릿 변환영역에서 최저주파 영역과 최고주파 대역들을 제외한 중간 및 고주파 영역에, 인간 시각 시스템(human visual model : HVS)을 이용한 JND(just noticeable difference) 특성과 NVF(noise visibility function)를 이용한 통계적 특성을 기반으로 정상상태 가우시안 모델에 따라 지각적 동조 특성을 이용하여 적응적으로 은닉된다. 실험 결과 제안한 방법에서 예지나 텍스처 영역에 더 강하게 삽입할 수 있었고, 평탄영역에서 보다 적응적으로 은닉할 수 있었으므로 우수한 비가시성과 강인성을 확인하였다.

1. 서론

최근 초고속 네트워크의 발달은 디지털매체의 방대한 데이터 용량과 저장, 전송은 속도와 거리에 제약을 받지 않을 만큼 자유로워 졌다. 그것은 또한 디지털 정보의 최대의 장점인 손실 없는 전송과 복제를 가능하게 했는데, 그러한 장점은 무분별한 디지털 정보의 무단 복제의 남용으로 인해 저작권의 침해라는 큰 문제점을 낳았다. 따라서 이러한 저작권자의 저작물 보호를 위해 디지털 워터마킹 기술이 발전되었다. 이러한 디지털 워터마킹에서 가장 필요로 하는 요구조건이 있는데 이는 비가시성(invisibility)과 강인성(robustness)을 들 수 있다. 이들 특성은 상호 trade-off관계에 있다 하겠는데 이들 사이에서의 최적의 알고리즘을 구현하는 것이 중요하다.

Voloshynovskiy 등[1]은 내용적용 디지털 워터마킹을 구현하기 위하여 통계적 모델링 기법을 제안하였다. Podilchuk 등[2]은 HVS를 이용한 방법을 제시하였다. 웨이브릿 기반에서 효과적인 영상압축을 위한 JND값을 문턱값으로 사용하고 이보다 큰 계수들에 대해서만 삽입한다. 각 부대역의 방향성과 레벨에 대한 JND값은 그 부대역의 삽입강도로 사용된다. 이 방법은 같은 부대역 내의 웨이브릿 계수는 모두 같은 삽입강도로 삽입되므로, 계수가 아닌 부대역이 인간 시각에 미치는 영향만 고려하였다. 따라서 이러한 방법들은 비가시성 및 강인성을 동

시에 만족시키는 방법이 필요하다. 따라서 다해상도로 분해된 웨이브릿 계수들의 통계적 특성을 이용하여 계수의 특성에 맞는 삽입강도를 찾는 연구가 계속되고 있다. Kwon 등[3]은 멀티웨이브릿 변환영역에서 SSQ와 비정상상태 모델에 대한 지각특성을 갖는 워터마킹 기법을 제안하였다. Watson 등[4]은 웨이브릿 기반 영상 압축에 지각적 양자화와 지각적 비트 할당을 위한 주파수 감응(frequency sensitivity) 문턱값을 제안했다.

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 JND 특성과 통계적 모델을 이용한 지각적 동조특성을 적용한 워터마크 은닉방법을 제안한다. 지각적 중요 계수(perceptual significant coefficient : PSC)는 JND 문턱값을 이용해서 문턱값보다 큰 계수로 선택된다. 지각모델은 통계적 다해상도로 구해지는 정상상태 일반화 가우시안 모델로 NVF를 구해서 계산된다. 이 지각모델은 국부 영상 특징을 갖게 되어 예지나 텍스처 영역과 평탄 영역에 따른 적응적 척도로 사용될 수 있어 예지나 텍스처 영역에 더 강하게 워터마크를 삽입할 수 있고, 평탄영역에서 보다 적응적으로 은닉할 수 있다.

제안한 방법의 비가시성과 강인성의 성능을 평가하기 위하여 서로 다른 특성을 가지는 LENA, AIRPLANE 등의 실험 영상에 대해 StirMark 3.1 벤치마크 테스트에 근거하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 실험 결과 제안한 방

법의 정상상태 일반화 가우시안 모델의 NVF를 이용하여 시각적 동조특성을 적용한 경우 비가시성을 유지하면서 강인성의 우수함을 확인하였다.

II. 제안한 적응 워터마킹

1. 멀티웨이브릿 변환

여러 개의 스케일링 및 웨이브릿 함수로 구성되어 있는 멀티웨이브릿은 그 함수들의 길이를 보존하며 영상의 경계영역에서 좋은 특성을 보인다. 또한 고차수의 근사화를 통해 완전복원을 가능케 한다.

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 4레벨 부대역들로 분해된 계수에 워터마킹 기법을 제안하는데, 여기에 사용되는 멀티웨이브릿 필터뱅크들의 구조를 간략화한 블록도는 그림 1과 같다.

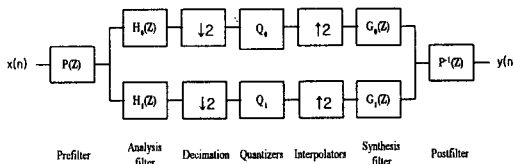


그림 1. 멀티웨이브릿의 필터뱅크

$H_0(Z)$, $G_0(Z)$ 는 저역 통과 필터이고, $H_1(Z)$, $G_1(Z)$ 는 고역 통과 필터에 해당한다. 또한 $P(z)$ 는 전처리 필터이고, $P^{-1}(z)$ 는 후처리 필터이며, Q 는 양자화기이다.

2. 정상상태 GG 모델을 이용한 워터마크 은닉

본 논문에서는 멀티웨이브릿 변환영역에서 국부 영상 특성을 갖는 NVF에 따라 선택된 시각적 중요 계수의 통계적 특성과 워터마크의 통계적 추정치에 의해 추출을 용이하게 하기 위한 적응적 워터마크 은닉기법을 제안한다. 워터마크를 잡음으로 간주해서 워터마크의 통계적 특성에 따른 NVF를 계산해서 지각 모델로 사용한다. 이것은 최적의 NVF를 결정하기 위해 정상상태 일반화 가우시안 모델로 워터마크를 추정해서 분해된 멀티웨이브릿 계수에 은닉하는 방법이다. 워터마크 삽입은 4레벨 멀티웨이브릿 영역 내에서 각 부대역의 평균연산과 분산을 이용해 에지와 텍스처 및 평탄 영역에 따른 적응적 척도를 얻는다. 적응적 워터마크 알고리즘을 갖는 모델은 워터마크를 에지와 텍스처 영역에 보다 강하게 삽입할 수 있게 한다. 정상상태 일반화 가우시안 모델을 갖는 NVF는 식 (1)과 같다.

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

여기서 $\sigma^2(i, j)$ 는 영상의 분산을 나타내고, $w(i, j)$ 는 가중치를 나타내는 값들로서 다음과 같이 계산된다.

$$w(i, j) = \gamma [\beta(\gamma)]^{-1} \frac{1}{\|a(i, j)\|^{2-\gamma}} \quad (2)$$

$$a(i, j) = \frac{I(i, j) - I(i, j)^*}{\sigma_x(i, j)} \quad (3)$$

$$\beta(\gamma) = \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{3}{\gamma})}{\Gamma(\frac{1}{\gamma})}} \quad (4)$$

$$\Gamma(t) = \int_0^\infty e^{-u} u^{t-1} du \quad (5)$$

여기서 $w(i, j)$ 는 적응적 워터마크의 은닉을 위해 식 (5)와 같은 감마 함수를 이용하며, $I(i, j)^*$ 는 원영상 $I(i, j)$ 의 국부적 평균을 의미한다. γ 는 형상계수로서 모멘트 정합 방법에 의해서 계산된다. 일반적으로 형상계수는 $0.3 < \gamma < 1$ 의 범위에 있다. 그림 2은 제안한 적응적 워터마크 은닉모델의 블록도이다.

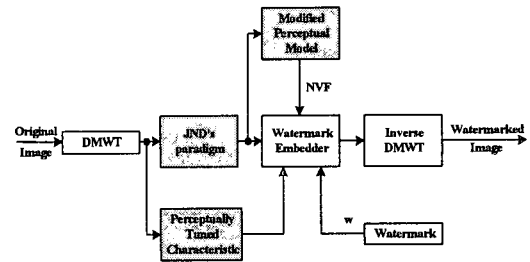


그림 2 제안한 방법의 적응적 모델

제안한 워터마크의 삽입은 주파수 영역에서 행하는 방법으로 멀티웨이브릿을 사용한다. 먼저 영상을 4레벨로 분해한 다음 분해된 부대역들 중에 에너지가 집중된 최저주파 부대역은 화질의 열화를 고려하여 삽입에서 제외한다. 그리고, 고주파 부대역들중 최고주파 부대역들은 공격에 약하므로 삽입에서 제외시키고 나머지 부대역에 대해서만 Watson 등이 영상 압축을 위해 제시한 정적 JND 모델을 사용하여 각 부대역에 대한 문턱값을 결정한다. 이 문턱값은 레벨과 방향성에 대한 각 부대역내의 시각적 중요계수로 판단한다. 식 (6)에서와 같은 방법으로 워터마크는 부가잡음 형태로 원 영상의 멀티웨이브릿 계수에 삽입된다.

$$x' = x + \{(1 - NVF) S_{ET} + NVF \cdot S_F\} \cdot w_i \quad (6)$$

위 식 (6)에서 x 와 x' 는 각각 원 영상과 워터마크가 은닉된 영상을 나타내고, w_i 는 가우시안 랜덤 분포를 갖는 시퀀스로 실제 영상에 삽입되는 워터마크이다.

NVF 는 2절에서 수학적으로 계산된 값들을 사용한다. S_{ET} 는 에지와 텍스처 영역에서의 삽입 강도이고

S_F 는 평탄한 영역에서의 삽입강도이다. S_{ET} 는 [4]에서 워터마크를 삽입하기 위해 적용했던 값을 사용하였으며, S_F 는 [5]에서 영상 압축시의 시각적 양자화와 적응적 비트할당을 위해 사용했던 값을 적용하였다. 다음 표 1과 표 2에 각 부대역에 적용한 값을 나타내었다.

이 방법은 워터마크의 강도를 각 부대역의 특징에 맞게 하여 화질의 열화를 유지시키면서 강인성을 증가시키려는 목적으로 지각적 동조모형을 이용하여 제안하였다.

표 2. 에지와 텍스처 영역의 삽입강도

| level orientation | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|--------|--------|--------|
| HL | 14.685 | 12.707 | 14.156 |
| LH | 14.685 | 12.707 | 14.156 |
| HH | 28.408 | 19.54 | 17.864 |

표 3. 평탄 영역의 삽입강도

| level orientation | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|-------|------|------|
| HL | 6.57 | 1.39 | 0.5 |
| LH | 8.33 | 1.24 | 0.2 |
| HH | 10.11 | 3.50 | 0.66 |

III. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법의 특징들을 비교하기 위해 실험 영상은 512×512 크기의 8 비트 그레이 스케일을 갖는 LENA와 AIRPLANE 영상을 사용하였다.

먼저 멀티웨이브릿 변환으로 영상을 4레벨로 분해한다. 은닉되는 워터마크로서 200번째 시드값 (seed number)을 갖는 가우시안 분포의 1000개의 단위분산값을 이용한다. 부대역 적용적 문턱값으로서 JND Paradigm으로 계산된 표 1을 이용해 PSC들을 찾는다. 그리고 다해상도로 분해된 계수들을 이용해서 통계적 방법으로 정상상태 일반화 가우스 모델의 경우의 NVF를 계산한다. 선택된 PSC에 계산된 NVF와 지각적 동조모형을 이용한 삽입강도를 적용시켜 워터마크를 은닉한다.



그림 3. Lena와 Airplane의 원 영상



그림 4. 워터마크가 삽입된 영상

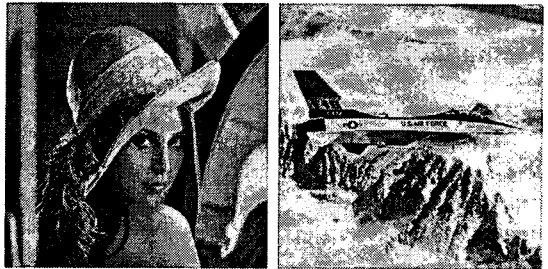


그림 5. Stirmark 공격후의 영상

그림 3 및 그림 4에 원 영상과 제안한 방법으로 워터마크를 은닉한 영상을 나타내었다. 또한 그림 5에 Stirmark 공격 후의 워터마크가 삽입된 영상을 나타내었는데 워터마크가 은닉된 후에도 화질의 열화가 없음을 확인하였다.

그림 6은 LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도를 나타낸 것이다. 제안한 방법과 Podilchuk 등이 제안한 방법과 비교하였는데 실험의 객관성을 위해 Podilchuk의 방법을 웨이브릿으로 4레벨로 분해하였으며, 실험 결과 제안한 방법이 압축률 10%를 제외하고 Correlation Response가 더 높음을 확인할 수 있었다. 또한 워터마크 은닉의 비가시성을 나타내는 PSNR에서 제안한 방법이 압축률이 낮을수록 더 우수한 특성을 나타냄을 그림 7를 통해 확인할 수 있다. 이는 평탄영역보다 에지나 텍스처영역에 워터마크가 더 강하게 삽입되었기 때문이다.

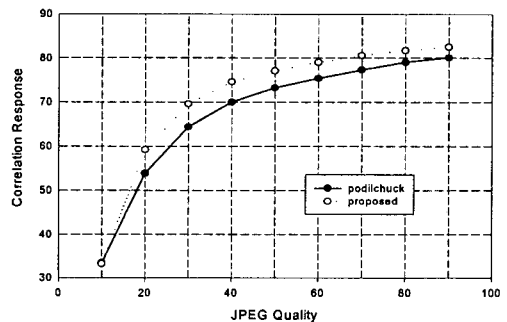


그림 6. LENA 영상의 JPEG 압축률 변화에 따른 유사도

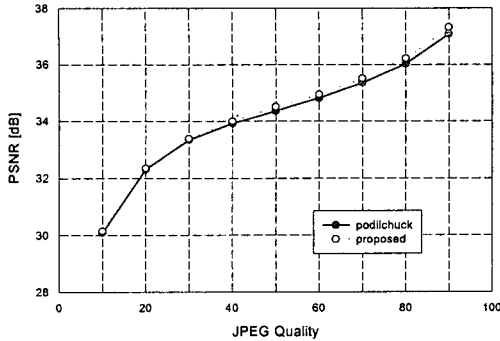


그림 7. JPEG 압축률 변화에 따른 PSNR

아래 표 3과 표 4은 각각 워터마크 된 LENA 영상과 AIRPLANE 영상의 일반적인 영상처리 후 워터마크를 추출한 결과이다. 제안한 방법이 Podilchuk 등의 방법과 비교하여 비슷한 강인성에서 더 우수한 비가시성을 확인할 수 있었다.

표 3. LENA 영상의 일반적인 영상처리 비교

| Attack | Proposed | | Podilchuk | |
|--------------------|----------|-------|-----------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| Gaussian Filtering | 33.21 | 52.26 | 33.19 | 51.35 |
| Sharpening | 21.49 | 46.20 | 21.45 | 47.67 |
| Median Filtering | 30.15 | 51.46 | 30.29 | 51.08 |
| FMLR | 32.12 | 29.96 | 32.05 | 32.46 |

표 4. Airplane영상의 일반적인 영상처리 비교

| Attack | Proposed | | Podilchuk | |
|--------------------|----------|-------|-----------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| Gaussian Filtering | 32.41 | 47.88 | 32.40 | 48.38 |
| Sharpening | 21.79 | 49.45 | 21.69 | 50.70 |
| Median Filtering | 28.82 | 44.66 | 29.04 | 53.60 |
| FMLR | 32.46 | 40.50 | 32.19 | 46.47 |

표 5는 워터마크가 삽입된 Lena 영상을 JPEG 압축률 50%로 압축 한 후 Cropping 비율을 10%~90%로 변화시키면서 각각에 대한 PSNR과 Correlation Response를 나타낸 표이다. 실험 결과에서 보듯이 기하학적 공격과 손실압축이 포함된 공격에서도 비가시성을 만족하면서도 워터마크가 충분히 살아있음을 알 수 있었으므로, 은닉된 워터마크가 충분히 강인성을 만족함을 확인하였다.

표 5. JPEG Q-factor 50%에서의 Cropping 실험

| Cropping Ratio | Proposed | | Podilchuk | |
|----------------|----------|-------|-----------|-------|
| | PSNR[dB] | CR | PSNR[dB] | CR |
| 10% | 36.86 | 69.18 | 34.90 | 69.79 |
| 20% | 37.39 | 65.26 | 35.39 | 65.96 |
| 30% | 38.20 | 59.61 | 36.10 | 61.58 |
| 40% | 39.16 | 53.82 | 36.95 | 56.46 |
| 50% | 40.53 | 46.82 | 38.28 | 48.55 |
| 60% | 42.42 | 37.95 | 40.38 | 37.78 |
| 70% | 44.88 | 28.60 | 42.91 | 27.83 |
| 80% | 48.10 | 19.10 | 46.24 | 19.04 |
| 90% | 53.64 | 10.67 | 51.87 | 10.44 |

5. 결론

본 논문에서는 4레벨 멀티웨이브릿 영역에서 NVF 함수를 적용하여 각 부대역에 적응적인 삽입강도를 사용하는 워터마크 은닉 기법을 제안하였다. 워터마크가 삽입되는 멀티웨이브릿 계수는 JND 특성에 따라 시각적 중요계수를 선택하였다. 최적의 NVF를 계산하기 위해 정상상태 일반화 가우시안 모델에 따라 통계적 다해상도 특성을 이용하였다. StirMark 3.1 벤치마크 테스트에 근거하여 컴퓨터 모의 실험한 결과 비가시성과 강인성을 높일 수 있었으며 제안한 방법의 우수성을 확인할 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00589-0)지원으로 수행되었음.

[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] I. H. L. J. Karam, R. J. Safranek, "A Perceptually Tuned Embedded ZeroTree Image Coder," *ICIP*, 1997