

개선된 QIM과 SVM을 이용한 공격에 강인한 다중 오디오 워터마킹 알고리즘 개발

Development of a Robust Multiple Audio Watermarking Using Improved Quantization Index Modulation and Support Vector Machine

서예진*, 조상진*, 정의필*

Ye-jin Seo*, San-gjin Cho*, Ui-pil Chong*

요약

본 논문에서는 신호의 파워에 따라 적응적 스텝 사이즈를 갖는 개선된 QIM(Quantization index modulation)과 SVM(Support vector machine) 디코딩 모델을 이용한 다중 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 워터마크는 주파수 크기 응답과 주파수 위상 응답에 QIM을 이용하여 삽입한다. 이는 주파수 크기 응답과 위상 응답에 강인한 공격이 다르기 때문에 양쪽 모두 삽입하여 강인성을 보완하기 위해서이다. 검출시에는 SVM 디코딩 모델을 사용하여 검출된 워터마크가 워터마크로서의 기능이 애매모호한 경우를 개선하여 검출 비율을 향상시킨다. 강인성 검증을 위해 11개의 공격을 사용하였고 그 결과 SVM 디코딩 모델을 사용하지 않은 기존의 다중 오디오 워터마킹 방법보다 훨씬 우수한 성능을 보였다. 특히 PSNR은 최대 7dB의 개선 효과를, BER은 10%의 개선 효과를 보인 것은 주목할 만한 결과이다.

ABSTRACT

This paper proposes a robust multiple audio watermarking algorithm using improved QIM(quantization index modulation) with adaptive stepsize for different signal power and SVM(support vector machine) decoding model. The proposed algorithm embeds watermarks into both frequency magnitude response and frequency phase response using QIM. This multiple embedding method can achieve a complementary robustness. The SVM decoding model can improve detection rate when it is not sure whether the extracted data are the watermarks or not. To evaluate robustness, 11 attacks are employed. Consequently, the proposed algorithm outperforms previous multiple watermarking algorithm, which is identical to the proposed one but without SVM decoding model, in PSNR and BER. It is noticeable that the proposed algorithm achieves improvements of maximum PSNR 7dB and BER 10%.

Keywords : *Multiple Audio Watermarking, Frequency Magnitude Response, Frequency Phase Response, Quantization Index Modulation, Support Vector Machine*

I. 서론

나날이 발전하는 신호처리기술, 스마트 폰의 보급 확산은 과거보다 월등히 많고 다양한 디지털 콘텐츠를 즐길 수 있는 환경을 제공하고 있다. 그러나 디지털 콘텐츠의 무제한적 복제가 가능하고 쉽게 데이터를 변형할 수 있어서 디지털 저작권 보호의 문제도 같이 증대되고 있다[1]. 디지털 워터마킹은 멀티미디어 콘텐츠의 지적재산권을 보호하는 역할을 한다. 디지털 워터마킹이란 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 목적으로 사람의 눈이나 귀를 통해 쉽게 감지하기 어려울 정도의 저작권 정보를 디지털 이미지나 오디오, 그리고 비디

오 신호에 삽입하는 기술을 말한다. 디지털 워터마크는 원본 콘텐츠에 영향을 미치지 않도록 삽입되어야 하므로 인간의 시각이나 청각에 최대한 인식되지 않는 정도로 삽입하여야 한다. 그리고 워터마크 신호는 콘텐츠로부터 쉽게 검출할 수 있어야하고, 여러 신호처리 공격에 강인해야하며, 정확하게 저작권을 나타낼 수 있어야 한다[2]. 본 논문에서는 파워에 따라 적응적 스텝사이즈를 가지는 개선된 QIM(Quantization Index Modulation)과 SVM(Support Vector Machine) 디코딩 모델을 이용한 공격에 강인한 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다.

QIM을 이용하는 워터마킹 방식은 워터마크 검출 시 원본 이미지가 필요 없는 블라인드 워터마킹 방식으로 확산대역을 이용하는 방식이나 LBM(low bit modulation)방식보다 강인하다[3]. 하지만 QIM을 이용하는 방식은 양자화 스텝 사이즈에 대한 정보를 이용하면 누구나 워터마크를 삭제할 수

* 울산대학교

투고 일자 : 2015.4.1

수정완료일자 : 2015.4.27

게재확정일자 : 2015. 5 .1

있다는 단점이 있다[4]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 워터마크 삽입 영역을 다양화하고 적응적으로 스텝 사이즈를 결정하는 연구가 다수 발표되었다[5, 6]. 본 논문에서는 파워에 따라 적응적인 스텝 사이즈를 가지는 개선된 QIM을 이용하는 방식을 사용한다. 신호의 주요부분은 일반적으로 파워가 높기 때문에 이 부분에 워터마크를 삽입하게 되면 워터마크를 훼손하려고 했을 때 원신호도 심각한 손상을 입는다. 따라서 파워가 높은 부분에 워터마크를 삽입하고, 또한 주파수 위상응답과 크기 응답에 강인한 공격이 다르기 때문에 양쪽 모두에 삽입해서 강인성을 보완할 수 있는 다중 워터마킹 방식을 사용한다. 주파수 영역에서의 워터마킹 기술은 공간영역에서 적용되던 방식에 비해 공격에 강한 특징을 가지지만 주파수 특성상 워터마크 삽입 위치를 정확히 선정할 수 없고 계산 복잡도가 높다는 단점이 있다[7, 8]. 이에 따라 강인성을 높이는 공간영역에서의 워터마킹 기술이 발표되고 있다.

SVM은 자료를 분류하는 기술인데 강인성과 정확도가 높기 때문에 큰 주목을 받고 있으며[9] 현재까지 알려진 이진 분류기 중 가장 성능이 우수한 시스템이다. 검출된 워터마크가 워터마크로서의 기능이 애매모호할 경우가 종종 발생하는데 제안하는 알고리즘은 SVM을 적용하여 워터마크 검출 비율을 향상시킨다. 제안하는 알고리즘의 강인성 검증은 위해 주파수 크기 응답에 QIM을 적용한 방식, 주파수 크기 응답과 위상 응답에 QIM을 적용한 방식, 그리고 제안하는 방법인 주파수 위상 응답과 크기 응답에 QIM을 적용하고 SVM 디코딩 모델을 이용한 방식들을 비교한다.

II. 제안한 알고리즘

2.1 Quantization Index Modulation

QIM은 디더 변조(dither modulation)와 양자화기를 이용하여 1개의 메시지 비트를 워터마크로 삽입하며, 디더 벡터(dither vector) d 는 식 (1)으로 정의한다[10, 11].

$$d[k, 1] = \begin{cases} d[k, 0] + s_k/2 & , d[k, 0] < 0 \\ d[k, 0] - s_k/2 & , d[k, 0] \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

k 는 삽입될 워터마크 인덱스이고, $d[k, 0]$ 은 $[-s_k/2, s_k/2]$ 에 균일하게 분포하는 유사 랜덤 시퀀스이며 s_k 는 양자화의 스텝 사이즈이다. 원신호는 디더 벡터와 같이 양자화 되는데 삽입을 위한 함수는 식 (2)로 정의한다.

$$\mathbf{s}_m(\mathbf{x}_m; m) = \mathbf{q}(\mathbf{x}_m + \mathbf{d}(m)) - \mathbf{d}(m) \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{s}_m(\mathbf{x}_m; m)$ 은 원신호에 워터마크 m 이 삽입된 신호이다. $\mathbf{q}(\cdot)$ 은 스텝 사이즈 s_k 를 갖는 균일 스칼라 양자화기(uniform scalar quantizer)이다.

2.2 삽입 알고리즘

제안하는 방법은 주파수 위상 응답과 크기 응답에 워터마크를 각각 삽입한다. 신호처리에 강인한 워터마킹을 위해서 신호의 주요 부분에 워터마크를 삽입하는데, 신호의 주요 성분은 피치, 에너지, 포먼트 등으로 나타낼 수 있다 제안하는 알고리즘에서는 파워를 고려하였으며, 워터마크 삽입 과정은 다음과 같다.

단계 1. 전체 샘플의 수가 l 인 오디오 신호 $x(n)$ 에 사각 윈도우(rectangular window)로 오버랩(overlap)없이 L 샘플을 취하여 총 N 개의 프레임이 만든 후, 식 (3)의 프레임 파워 P 와 식(4)의 전체 오디오 신호의 평균 파워 P_m 을 비교한다.

$$P = \sum_{n=0}^L x(n)^2 \quad (3)$$

$$P_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^l x(n)^2 \quad (4)$$

단계 2. P 가 P_m 보다 크거나 같으면 푸리에 변환을 통해 주파수 크기 응답 $|X(\omega)|$ 과 위상 응답 $\angle X(\omega)$ 을 구한다.

단계 3. 주파수 크기 응답에 QIM을 적용하기 위해 적응적 스텝 사이즈를 식 (5)과 같이 구한다.

$$s_k = \lfloor \frac{\max(|X(\omega)|_k)}{s_T} \rfloor \quad (5)$$

여기서 $|X|_k$ 는 k 번째 프레임의 주파수 크기 응답이고, s_T 은 신호 전체에 대한 고정된 스텝 사이즈이다. 이는 프레임별 주파수 크기응답에 적응적으로 변하여 음질 열화를 최소화하고 공격에 강인한 스텝 사이즈를 제공할 수 있다[3, 5, 6, 12, 13].

단계 4. 주파수 위상 응답을 이용한 워터마킹 방식은 식 (6)의 방법으로 QIM을 적용, 각각 메시지 비트 0과 1에 따라 프레임별로 1개의 메시지 비트를 워터마크로 삽입한다.

$$\mathbf{WM}_p(\angle X(\omega); m) = \begin{cases} s_p(m) \times \left\lfloor \frac{\angle X(\omega)}{s_p(m)} \right\rfloor & , m = 0 \\ s_p(m) \times \left\lfloor \frac{\angle X(\omega)}{s_p(m)} - 0.5 \right\rfloor + \frac{s_p(m)}{2} & , m = 1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $WM_p(\angle X(\omega)_p; m)$ 은 원신호의 주파수 위상 응답 벡터 $\angle X(\omega)$ 에 워터마크 m 이 삽입된 신호이고, 스텝 사이즈 $s_p = \pi/32$ 를 사용한다.

단계 5. 워터마크가 삽입된 주파수 크기 응답과 위상 응답을 이용하여 역푸리에 변환을 수행, 시간 영역의 오디오 워터마크가 삽입된 신호로 복원한다.

2.3 검출 알고리즘

SVM 디코딩 모델은 워터마크 검출시에 SVM을 적용한 디코딩 방식으로 다음과 같다.

단계 1. QIM의 검출 방식인 기존의 유클리디안 거리나 복원율을 이용하여 1차적으로 검출한 데이터($N \times N$)를 식 (7)과 같은 형태로 정렬한다.

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1j} & \dots & w_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ w_{i1} & \dots & w_{ij} & \dots & w_{iN} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1} & \dots & w_{Nj} & \dots & w_{NN} \end{bmatrix} \quad (7)$$

단계 2. 이전 단계에서 얻은 데이터 집합에 대해 각각의 PSNR(peak signal to noise ratio)을 계산하고 그 값이 문턱값인 10dB이상인 경우에는 다음 단계로, 그렇지 않은 경우는 해당 데이터를 제외시킨다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (8)$$

여기에서 MSE 는 삽입한 워터마크와 1차 검출한 워터마크 사이의 평균 제곱 오차이고 MAX 는 삽입한 워터마크 영상의 최대 픽셀 값을 의미한다.

단계 3. SVM의 문턱값을 구하기 위해 식 (9)와 (10)과 같이 W 의 행과 열을 R_i 와 C_j 로 분리한 후 식 (11)과 (12)을 이용하여 각각의 BER(bit error rate)을 계산한다.

$$R_i = [w_{i1} w_{i2} \dots w_{iN}] \quad (9)$$

$$C_j = [w_{1j} w_{2j} \dots w_{Nj}]^T \quad (10)$$

$$B_{row} = BER(R_i), 1 \leq i \leq N \quad (11)$$

$$B_{col} = BER(C_j), 1 \leq j \leq N \quad (12)$$

단계 4. 이전 단계에서 구한 B_{row} 와 B_{col} 의 중간값을 구한 후 이에 가중치를 적용하여 각 행과 열의 워터마크가 참인지 거짓인지를 판별할 기준이 되는 문턱값

Thr 을 식 (13)과 (14)로 구한다.

$$Thr_{row} = \alpha \cdot median(BER_{row}) \quad (13)$$

$$Thr_{col} = \alpha \cdot median(BER_{col}) \quad (14)$$

단계 5. 이전 단계에서 구한 문턱값 판별기준으로 정하여 이상인 경우에는 true, 미만인 경우에는 false가 되도록 데이터 집합을 학습시켜서 SVM을 생성한다.

단계 6. 단계 1을 이용하여 검출한 분류 대상 집합을 단계 5에서 생성한 SVM에 적용시켜서 최종적으로 워터마크를 검출한다.

III. 실험 결과 및 토의

3.1 실험 데이터

제안한 워터마킹 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 대상 음악으로 악기음과 음성이 모두 포함되어 전대역의 스펙트럼을 가지고 있는 클래식(8:30)을 사용하였다. 이는 44.1 kHz 샘플링에 16 비트로 양자화된 음원이며 사운드 포지 8.0에서 녹음한 디지털 오디오를 사용하였다. 워터마크는 그림 1과 같은 30×30 의 그레이 스케일의 영상을 사용하였으며 이를 8비트의 이진 데이터로 변환하여 삽입하였다.



그림 1. 워터마크 영상
Fig. 1. Watermark image

3.2 신뢰성 검사

오정보 확률은 디코더에 의해 워터마크 되지 않은 오디오가 워터마크된 것처럼 선언되는 확률이다. 오정보 확률이 높다는 것은 필연적으로 오경보 알람 증가로 이어질 수 있으므로 이에 대한 성능 분석을 위해 오경보 알람 확률을 계산하여 신뢰성 검사를 하였다[14]. 본 논문에서는 표 1의 11개 공격을 수행하여 구한 BER을 사용하였다. 그림 2는 삽입된 워터마크의 길이가 (0,50]일 때 오경보 알람 확률을 나타낸 것으로 SVM 디코딩 모델을 사용하지 않은 경우, 주파수 위상응답과 크기응답에 삽입한 워터마크의 길이가 20-30비트 이상일 때 각각 오경보 알람 확률은 약 0의 값을 보인다. 그리고 SVM 디코딩 모델을 사용한 경우는 워터마크의 길이가 약 15비트 이상일 때 0의 오경보 알람 확률을 보인다. 본 논문에서는 대상 음악인 클래식 음악의 주파수 위상응답과 크기응답에 7200비트의 워터마크를 삽입하였기 때문에 결과적으로 제안한 오디오 워터마킹 알고리즘의 오경보 확률은 0이 됨을 알 수 있다.

표 1. 강인성 검증을 위한 공격 종류
Table 1. Attacks to evaluate robustness

| attack | Description |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| None | Bypass the audio signal. |
| LPF | Low pass filtering with cut-off frequency of 15kHz. |
| BPF | Band pass filtering with cut-off frequency of 100Hz~6kHz. |
| Crop. | Cut and replace samples of arbitrary part of the audio signal whose duration is 2 seconds. |
| Resam. | Change the sampling rate of the audio signal from 48kHz to 44.1kHz. |
| MP3 | Compress the audio signal with MPEG-1 Audio Layer 3 |
| A/C | Compress the amplitude by changing quantization bit from 16bit to 8bit. |
| Norm. | Normalize the amplitude using the maximum value. |
| Inv. | Invert all samples in the audio signal, like a 180 degree phase shift. |
| FFT Inv. | Invert the real and imaginary part of the sample values in the frequency domain. (FFT size: 1024) |
| FFT RR | Reverse only the real part of the audio signal in the frequency domain. (FFT size: 1024) |

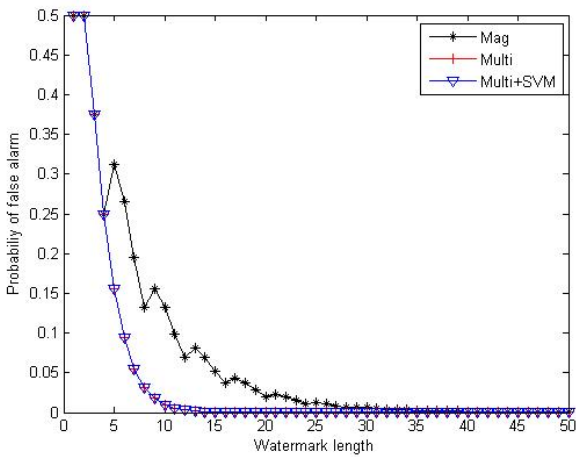


그림 2. 오경보 알람 확률 (Mag: 주파수 크기 응답에만 QIM 적용, Multi: 주파수 크기 응답과 위상 응답에 QIM 적용, Multi+SVM: 제안하는 방법)

Fig. 2. Provability of false alarm (Mag: QIM to frequency magnitude response, Multi: QIM to both frequency magnitude response and frequency phase response, Multi+SVM: proposed algorithm)

3.3 강인성 검사

강인성 검증을 위하여 표 1과 같이 StirMark, SMDI, STEP2000 벤치마크의 시간 및 주파수 영역에서의 공격을 사용하였고[4-5], 객관적 평가를 위해 i)주파수 크기 응답에만 QIM을 이용한 방법(Mag), ii)주파수 크기 응답과 위상 응답에 QIM을 이용한 방법(Multi), 그리고 제안한 방법인 iii)주파수 크기 응답과 위상 응답에 QIM과 SVM을 이용한 방법(Multi+SVM)의 결과를 워터마크의 PSNR과 BER 관점에서 비교하였으며, 그림 3에 나타내었다.

Multi+SVM은 다른 두 가지 방법과 비교하였을 때 모든 공격에서 월등히 우수한 결과를 보였다. 특히 Mag와 Multi는 FFT RR 공격에서는 유독 낮은 PSNR과 BER로 취약한 모습을 보였지만, Multi+SVM은 FFT RR 공격에서도 더 강인한 특성을 보였다. Multi와 Multi+SVM의 경우에는 많은 공격에서 무한대의 PSNR과 0%의 BER로 두 가지 방법 모두 우수한 성능을 보여주지만, 제안하는 방법인 Multi+SVM이 기존의 Multi보다 PSNR에서 대략 1-7dB 이상 개선효과를 보였다. 또한 BER이 5% 이내인 경우에는 0-2%이내로 감소하였으며 5% 이상을 보이는 경우에는 약 3-10%의 개선 효과를 보였다.

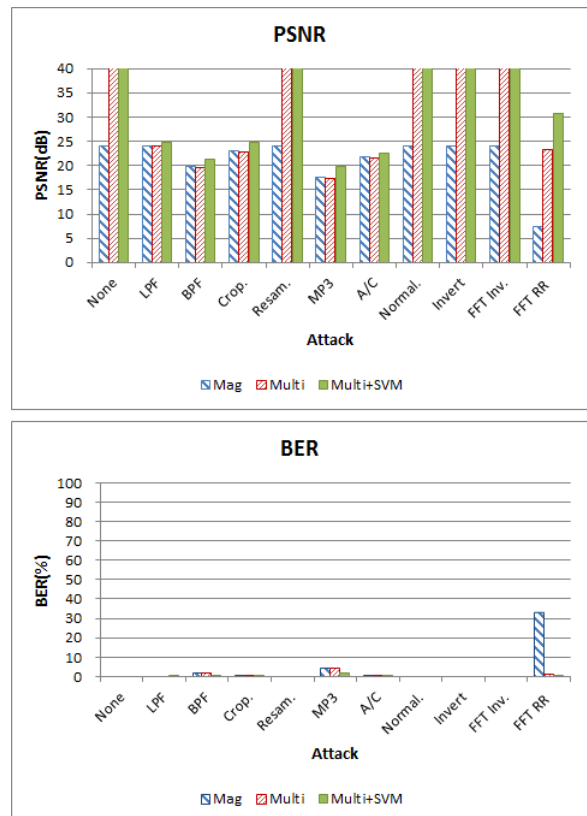


그림 3. PSNR과 BER 결과 비교
Fig. 3. Comparison of PSNR and BER

3.4 청취도 검사

워터마크된 오디오 신호의 음질을 평가하기 위해 주관 청취 평가 방법 중 하나인 MUSHRA(multiple stimuli with hidden references and anchor) 청취 테스트를 수행하였다 [15]. 실험에 참여한 피실험자는 디지털 신호처리를 전공하는 학생 및 교수 등 총 10명을 대상으로 하였다. 실험에 사용된 오디오 신호는 차단 주파수가 3.5kHz인 버터워스 저역 통과 필터를 통과한 앵커신호 1과 350Hz인 버터워스 고역 통과 필터를 통과한 앵커신호 2, 오디오 원신호, 제안한 방법에 의해 워터마크가 삽입된 오디오 신호로 총 4가지를 사용하였으며, 사용된 소프트웨어는 MUSHRAM(ver. 1.0)이다. MUSHRA 청취 테스트 결과 모두 96점 이상인 Excellent의 결과를 얻었다.

IV. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 파워 기반의 개선된 QIM을 이용한 워터마크 삽입 기술과 SVM에 기반을 둔 워터마크 디코딩 기술을 적용하여 공격에 강인한 새로운 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 신호처리에 강인한 워터마킹을 위해서 신호의 주요 부분인 파워를 고려하여 워터마크를 삽입하였다. 그리고 QIM의 단점인 스텝 사이즈의 정보가 노출 문제를 해결하기 위해 파워를 이용한 적응적 스텝사이즈를 적용, 기존의 QIM을 개선하였다. 또한 주파수 크기 응답과 위상 응답에 강인한 공격이 다르기 때문에 양쪽 모두에 삽입하여 강인성을 증대시켰다. 삽입된 워터마크가 검출된 이후 종종 워터마크로서의 그 기능이 애매모호한 경우가 발생되는데 이를 개선하기 위해 SVM 디코딩 모델을 제안하였다. 강인성 검증을 위해 오디오 워터마크 벤치마킹에 사용되는 공격 중 주로 사용되는 11가지를 사용하였으며, 그 결과 제안한 방법은 기존의 방법보다 최대 PSNR은 7dB, BER은 10%의 개선 효과를 보였다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 방식은 대부분의 공격에서 강인하였으며 신뢰도와 비인지성이 높은 우수한 성능을 보였다. 그러나 PSNR이 10dB 이하인 경우에는 성능이 개선되었음에도 불구하고 워터마크의 존재유무를 확실히 판단할 수 없는 경우가 있었다. 따라서 SVM 디코딩 모델의 성능을 개선할 수 있도록 다양한 훈련 집합에 대한 실험을 수행하여 알고리즘을 개선해 나가야 할 것이다.

참고 문헌

[1] J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2001.

[2] J.-S. Pan, H.-C. Huang, and L. C. Jain, Intelligent Watermarking Technique, World Scientific, River Edge, New Jersey, 2004.

[3] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding," IEEE Trans. Information Theory, Vol. 47, No. 4, pp. 1423-1443, May 2001.

[4] H. J. Choi, Y. H. Seo, J. S. Yoo and D. W. Kim, "HoloMarking: Digital Watermarking Method using Fresnel Hologram," (in Korean)J. Commun. Inform. Sci. Kr. Vol. 34, pp. 604-610, 2009.

[5] 이윤호, 이광우, 김승주, 원동호, 양형규, "QIM 워터마킹 방식에서의 양자화 구간 간격 최적화에 관한 연구", 정보보호학회논문지, Vol. 16, No. 1, pp. 45-53, 2006.

[6] A. Sarkar and B. S. Manjunath, "Double embedding in the quantization index modulation framework," Proc. 2009 IEEE Intl. Conf. Image Process., pp. 3653-3656, 2009.

[7] 이태홍, 이경훈, 김용훈, "웨이블릿 기반의 강인한 패턴 디지털 워터마킹 방법", 한국멀티미디어학회논문지, Vol. 7, No. 1, pp. 98-105, 2004.

[8] C.V. Serdean, M. Tomlinson, J. Wade and A.M. Ambroze, "Protecting Intellectual Rights: Digital Watermarking in the wavelet domain," IEEE Int. Workshop Trends and Recent Achiev. in IT, pp. 16-18, 2002.

[9] C. J. C. Burges, "A tutorial on support vector machines for pattern recognition," Data Min. and Knowl. Discov. Vol. 2, pp. 121-167, 1998.

[10] T. Page, "Digital watermarking as a form of copyright protection," Compute Law & Security Review, Vol. 14, No. 6, pp. 390-392, 1998.

[11] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Data hiding for video-in-video," in Proc. IEEE Intl. Conf. Image Process., Piscataway, NJ, Vol. 2, pp. 676-679, 1997.

[12] B. Chen and G. W. Wornell, "Dither Modulation: A New Approach to Digital Watermarking and Information Embedding Using Dither Modulation," in Proc. IEEE MMSP-98, pp. 273-278, 1998.

[13] N. Khademi, M. A. Akhaee, S. M. Ahadi, M. Moradi, and A. Kashi, "Audio watermarking based on quantization index modulation in the frequency domain," Proceedings of 2007 IEEE International Conference on Signal Processing and Communications, Dubai, United Arab Emirates, pp. 1127-1130, 2007.

[14] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Current state of the art, challenges and future directions for audio watermarking," IEEE International Conference of Multimedia Computing and Systems, Vol. 1, pp. 19-24, 1999.

[15] ITU (International Telecommunication Union).
 Recommendation BS.1534-1: Method for the subjective
 assessment of intermediate quality levels of coding
 systems,
[http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=folders&
 parent=R-REC-BS.1534](http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=folders&parent=R-REC-BS.1534) 2003.



서 예 진 (Ye-jin Seo)

2002년 2월 울산대 전기전자및자동화공학
 부(공학사)
 2004년 2월 울산대 전기전자정보시스템공
 학과(공학석사)
 2015년 2월 울산대 컴퓨터정보통신공학과
 (공학박사)

※주관심분야 : 디지털신호처리, 워터마크, DSP 응용



조 상 진 (Sang-jin Cho)

1997년 2월 울산대 전자공학과(공학사)
 2002년 2월 울산대 전자공학과(공학석사)
 2007년 2월 울산대 컴퓨터정보통신공학과
 (공학박사)
 2009년 3월 ~ 현재 울산대 전기공학부
 연구교수

※주관심분야 : 음향신호처리, 컴퓨터 음악



정 의 필 (Ui-Pil Chong)

1978년 2월 울산대학교 전기공학과(공학사)
 1980년 2월 고려대학교 전기공학과(공학석사)
 1985년 5월 미국 오레곤 주립대학교 전기 및
 컴퓨터 공학과(공학석사)
 1996년 12월 미국 뉴욕대학교(폴리테크닉
 공대) 전기 및 컴퓨터 공학과(공학박사)

1997년 4월 ~ 현재 울산대학교 전기공학부 교수

2011년 2월 ~ 현재 울산대학교 고래연구소 소장

※주관심분야 : 신호처리, 멀티미디어, 고래, 뇌파, 레이더