웨이블릿 패킷 변환한 후의 대역별 에너지와 QIM을 이용한 워터마킹 알고리즘

서예진^{*}, 조상진^{**}, 정의필^{***}

요 약

본 논문에서는 오디오의 저작권을 보호하고 공격에 강인한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 공격에 강인한 워터마킹 알고리즘을 구현하기 위해 신호의 주요 부분인 피치가 포함된 대역에 워터마크를 삽입한다. 일반적으로 피치가 포함된 대역은 에너지가 상대적으로 높은 특성을 이용하여 웨이블릿 패킷 변환으로 대역을 나누고 각각의 대역별 에너지를 계산하여 워터마크를 삽입할 위치를 선정한다. 그리고 선정한 대역의 신호를 주파수 영역으로 변경한 후 문턱값 이상의 값을 가지는 샘플에 대해 QIM을 이용하여 워터마크를 삽입한다. 이때 주파수 크기 응답에 따라 적응적인 스텝 사이즈를 이용하여 주파수 응답의 최대값이 크면 더 큰 스텝 사이즈로 워터마크를 삽입할 수 있으므로 공격에 강인하다. 검출은 블라인드 검출 방식으로 유클리디안 거리를 이용한다. 제안한 방법은 오디오 워터마크 벤치마킹에서 BER이 대부분의 공격에서 5% 이하로 나타나 공격에 강인한 결과를 보였다.

Watermarking Algorithm using Power of Subbands Decomposed by Wavelet Packet and QIM

Yejin Seo^{*}, Sangjin Cho^{**}, Uipil Chong^{***}

ABSTRACT

This paper proposes a novel watermarking algorithm that protects digital copyrights and is robust to attacks. Watermarks are embedded in the subband including the significant part of the signal such as a pitch. Generally, the subband containing the pitch has the biggest energy. In order to find this subband, wavelet packet transform is used to decompose the subbands and their energy are calculated. The signal of the selected subbands is transformed in frequency domain using FFT. The watermarks are embedded using QIM for samples higher than a certain threshold. The blind detection uses the Euclidean distance. The proposed method shows less than 5% BER in the audio watermark benchmarking.

Key words: Watermark(워터마크), Contents Protection(컨텐츠 보호), Wavelet Packet Transform(웨이블릿 패킷 변환), Energy(에너지), QIM(quantization index modulation), threshold(문턱값)

※ 교신저자(Corresponding Author): 정의필, 주소: 울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교 7호관 318호(680-749), 전화: 052)259-2220, FAX: 052)259-1687, E-mail: upchong@ulsan.ac.kr

접수일: 2011년 8월 4일, 수정일: 2011년 9월 15일

완료일: 2011년 11월 2일

^{*} 준회원, 울산대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사수료
(E-mail: syj1317@nate.com)

^{**} 정회원, 울산대학교 전기공학부 연구교수
(E-mail: sjcho75@ulsan.ac.kr)

^{***} 정회원, 울산대학교 전기공학부 교수

※ 본 연구는 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2011-0014554).

1. 서론

현재 정보의 디지털화, 나날이 발전하는 신호처리 기술, 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]. 과거에는 이러한 문제점을 해결하기 위해 암호화 기법이 많이 사용되었으나 소비자가 암호를 해독한 뒤에는 콘텐츠가 더 이상 어떠한 저작권 보호도 받지 못하기 때문에 이를 해결할 수 있는 방법으로 워터마킹 기술이 소개되었다. 워터마킹이란 디지털 콘텐츠의 저작권 보호를 목적으로 사람의 눈이나 귀를 통해 쉽게 감지하기 어려운 정도의 저작권 정보를 디지털 이미지나 오디오, 그리고 비디오 신호에 삽입하는 기술을 말한다. 디지털 워터마크는 원본 콘텐츠에 영향을 미치지 않도록 삽입되어야 하므로 인간의 시각이나 청각에 최대한 인식되지 않는 정도로 삽입하여야 한다. 그리고 디지털 콘텐츠에 어떠한 조작이나 위조가 가해진다 하더라도 워터마크가 검출되어야 저작권을 주장할 수 있기 때문에 공격에 대한 강인성이 중요하다. 워터마크 검출 시에 원본을 사용하여 검출하는 기술을 난-블라인드 워터마킹 방식이라 하고 원본없이 검출하는 기술을 블라인드 워터마킹 방식이라고 한다[2-8].

워터마크 삽입 공간은 주파수 영역과 시간영역으로 나뉘는데, 일반적으로 주파수 공간에 워터마크를 삽입하는 방식이 시간 영역을 이용하는 방식보다 강인하며, 주파수 영역으로는 DCT(discrete cosine transform)와 함께 DWT(discrete wavelet transform)를 많이 사용한다[9,10]. 워터마킹에 적용하는 기술도 확산대역(spread spectrum)을 이용하는 방식, SVD(singular value decomposition)를 이용하는 방식 및 QIM(quantization index modulation)을 이용하는 방식 등이 있다. 이 가운데 QIM을 이용하는 워터마킹 방식은 워터마크 검출시 원본 이미지가 필요 없는 블라인드 워터마킹 방식으로 확산대역을 이용하는 방식이나 LBM(low bit modulation)방식보다 강인하다[11]. 하지만 QIM을 이용하는 방식은 워터마크 삽입이나 검출 시 동일한 양자화 스텝 사이즈(quantization step-size)를 사용해야 하기 때문에 워

터마크를 검출하기 위해서는 양자화 스텝 사이즈에 대한 정보가 제공되어야 하는데, 이렇게 제공된 양자화 스텝 사이즈에 대한 정보를 이용하면 누구나 워터마크를 삭제할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 문제는 양자화 스텝 사이즈를 크게 하여 워터마크를 삭제하는 경우 심각한 음질 저하가 발생하도록 만드는 방법을 이용하여 해결할 수 있지만 스텝 사이즈를 크게 하면 음질 저하가 발생하게 되는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 신호에 따라 적응적인 스텝 사이즈를 가지는 QIM을 이용하는 방식이 많이 연구되고 있다[12-14].

본 논문에서는 주파수 영역에서 QIM을 적용한 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 신호처리에 강인한 워터마킹을 위해서는 워터마크를 신호의 주요 부분에 삽입함으로 워터마크의 제거를 시도하였을 경우, 심각한 음질 저하가 발생하도록 설계하는 것이 중요하다[15]. 신호의 주요 성분은 피치, 에너지, 포먼트 등으로 나타낼 수 있는데, 제안하는 알고리즘에서는 피치와 에너지를 고려하였다. 구체적으로, 본 논문에서는 신호의 주요 부분인 피치가 포함된 대역을 워터마크 삽입 위치로 선정하며, 주파수 영역에서 주파수 크기 응답의 크기에 따라 적응적인 스텝 사이즈를 가지는 QIM을 이용하는 방식과 문턱값을 적용하여 공격에 강인한 워터마킹 알고리즘을 제안한다.

2. 배경이론

2.1 QIM을 이용하는 워터마킹 알고리즘

QIM을 이용하는 워터마킹 방식은 워터마크 검출 시에 원신호가 필요없는 블라인드 방식으로, 디터 모듈레이션(dither modulation)과 양자화기를 이용하여 원신호를 양자화하여 워터마크가 삽입된 신호를 얻는 방식이다. QIM을 이용하는 방식은 워터마크의 강인성을 높이기 위해 양자화 스텝 사이즈를 높이면 워터마크된 신호의 음질이 저하되고 스텝 사이즈를 작게 하면 강인성이 낮아지는 특성을 가진다. 그러므로 적절한 크기의 스텝 사이즈를 적용하는 것이 중요하다. 워터마크 삽입 방법은 다음과 같다[11].

step 1 : 한 비트의 워터마크 $m \in \{0, 1\}$ 을 삽입할 때 $[-\Delta_k/2, \Delta_k/2]$ 에 걸친 의사랜덤 균일 분포(pseu-

random uniform distribution)를 가지는 디더 벡터 (dither vector) $d[k,0]$ 를 만든다. 여기서 Δ_k 는 균일 양자화기의 스텝 사이즈이다.

step 2 : step 1에서 만든 디더 벡터 $d[k,0]$ 을 양자화 스텝 사이즈의 1/2 크기만큼 이동시켜서 식(1)과 같이 디더 벡터 $d[k,1]$ 을 만든다.

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

여기서, k 는 삽입될 워터마크 인덱스이며 매 프레임마다 다른 워터마크를 삽입하기 때문에 프레임의 개수만큼 생성한다. 그리고 $d[k,m]$ 은 워터마크 $m \in \{0,1\}$ 을 삽입하기 위해 사용하는 디더 벡터이다.

step 3 : 워터마크 m 에 대한 디더 벡터 $\mathbf{d}(m)$ 을 이용하여 신호를 양자화시키는 방법으로 식(2)와 같이 워터마크가 삽입된 신호 $\mathbf{s}(\mathbf{x}; m)$ 를 만든다.

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

여기서, $\mathbf{q}(\cdot)$ 는 스텝 사이즈가 Δ_k 인 균일 스칼라 양자화기(uniform scalar quantizer)이다.

step 4 : 다양한 통신채널을 통과하거나 공격을 받은 워터마크된 신호 $\mathbf{y}$ 에서 워터마크 검출시에는 디코더에서 식(3)의 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 이용하여 검출할 수 있다.

$$\hat{m}(\mathbf{y}) = \underset{m}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{y} - \mathbf{s}(\mathbf{y}; m)\| \quad (3)$$

3. 제안 알고리즘

워터마크 삽입과 추출 과정은 프레임 기반으로 처리하며 매 프레임에 삽입되는 워터마크 비트 수는

한 비트로, 전체 프레임의 수와 동일한 수의 비트를 워터마크로 삽입한다. 전체 블록도는 그림 1과 같다.

오디오 신호에 사각 윈도우(rectangular window)로 오버랩(overlap)없이 N 샘플을 취하고 프레임 단위로 워터마크를 삽입한다. 공격에 강인하면서 사람이 인식하지 못하도록 워터마크를 삽입할 대역을 선정하는 것이 중요하므로 신호의 피치가 포함된 대역을 워터마크 위치로 선정한다. 따라서 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 대역을 나누고 대역별 에너지를 각각 계산한 후 최대 에너지를 가지는 대역을 워터마크 삽입 위치로 정한다. 선정된 대역의 신호는 FFT(fast Fourier transform)를 이용하여 주파수 영역으로 변경한 후 주파수 크기 응답의 최대값을 1로 정규화하여 프레임마다 각기 다른 적응적인 스텝 사이즈를 가지는 QIM으로 워터마크를 삽입한다. QIM을 이용하는 워터마킹 알고리즘은 스텝 사이즈가 클수록 강인성과 보안성이 높아지는데 제안한 알고리즘은 주파수 크기 응답의 최대값이 크면 더 큰 스텝 사이즈로 워터마크를 삽입할 수 있다. 스텝 사이즈는 식(4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\Delta_k = \lfloor \frac{\max(|\mathbf{X}_k|)}{\Delta_T} \rfloor \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{X}_k$ 는 k 번째 프레임의 주파수 크기 응답이고, Δ_T 은 신호 전체에 대한 고정된 스텝 사이즈이며 본 논문에서는 10을 사용한다.

원 신호의 주파수 크기 응답과 QIM을 이용하여 양자화한 신호를 비교하면, 원 신호의 주파수 크기 응답이 $\Delta_k/2$ 보다 작은 경우에는 음수로 양자화된다. 이러한 현상을 방지하기 위해 문턱값(threshold) 이상의 값을 가지는 샘플에 대해 식(2)의 방법으로 워터마크를 삽입한다. 이후 이를 시간영역으로 복원하여 워터마크된 신호를 생성한다.

워터마크 검출은 그림 2의 블록도를 이용하여 블

그림 1. 워터마크 삽입 블록도

그림 2. 워터마크 검출 블록도

라인드 방식으로 검출한다.

워터마크 삽입 때와 동일한 방법으로 워터마크가 삽입된 위치와 대상 샘플을 찾는다. 이 후 디터 벡터를 이용하여 0과 1의 워터마크가 삽입된 신호를 각각 생성한다. 그리고 식(3)을 이용하여 워터마크된 신호와 생성한 두 신호간의 유클리디안 거리를 계산하여 워터마크 비트를 검출한다.

4. 실험결과

제안한 워터마킹 시스템의 성능을 평가하기 위해 제안한 워터마킹 시스템을 각기 다른 장르의 대상 음악에 적용하였다. 대상 음악은 클래식 음악 두 종류(3분45초, 9초), 음성(4초), 기타 연주곡(9초) 그리고 피아노 연주곡(6초)이며, 샘플링 주파수는 44.1 kHz, 양자화 비트수는 16비트로 사운드 포지 8.0에서 녹음한 디지털 오디오를 사용하였다.

제안한 워터마킹 알고리즘의 강인성을 평가하기 위해 표 1의 StirMark, SMDI, STEP2000 벤치마킹 [18-21]으로 시간 및 주파수 영역에서의 공격을 가한 후 BER(bit-error-ratio)을 측정하였고, 참고문헌 [12]의 시간 영역에서 QIM을 이용한 방법을 구현한 결과와 제안한 알고리즘의 결과를 비교하여 표 2에 나타내었다. 시간영역에서의 QIM 워터마킹에서는 스텝 사이즈를 음질의 열화가 발생하지 않도록 실험을 통해 0.01로 설정하였다. 워터마크가 삽입된 후의 오디오 파일은 웹페이지(<http://signal.ulsan.ac.kr/doc/se0/>)에서 확인할 수 있다.

워터마크 삽입과 추출과정에서 한 프레임의 길이는 4096 샘플이며, 워터마크는 평균이 1이고 분산이 0인 데이터를 프레임 수만큼 랜덤으로 발생시켜서 사용하였다. 제안한 알고리즘은 프레임 기반 처리 방식이지만, 본 논문에서는 프레임의 동기화 문제는 고려하지 않았다.

표 1. 강인성 검사를 위한 공격의 종류

공격 종류	설 명	벤치마킹
Nothing	공격을 가하지 않음	StirMark
FFT_Invert	1024 샘플 크기로 푸리에 변환 후 실수부와 허수부를 각각 반전	StirMark
FFT_RealReverse	1024 샘플 크기로 푸리에 변환 후 실수부만 순서를 역으로 바꿈	StirMark
Invert	신호의 모든 샘플을 반전	StirMark
LPF	저역통과 필터의 차단 주파수를 10kHz로 설정	StirMark
LSBZero	신호의 모든 샘플에 대해 최하위 비트를 모두 0으로 설정	StirMark
Normalize	샘플의 최대값을 이용한 정규화	StirMark
Crop	2초의 파일의 일부를 잘라내어 원본으로 대체	-
BPF	대역통과 필터의 통과 대역을 100Hz에서 6kHz로 설정	SDMI
Codecs	코덱(MPEG-1 Audio Layer3, MP3)을 이용하여 압축	SDMI
Echo	지연시간은 최대 100ms까지, 피드백 계수는 최대 0.5로 설정한 에코 효과	SDMI
Resampling	48kHz에서 44.1kHz로 재샘플링	SDMI
Amplitude Compression	양자화 비트를 16bit에서 8bit로 낮춤	STEP2000
Noise Addition	백색잡음 추가(S/N : -40dB)	STEP2000

표 2. 강인성 검사 결과(BER(%))

공격 종류	Proposed Method					QIM Method-Time domain				
	Classic1	Classic	Voice	Guitar	Piano	Classic1	Classic	Voice	Guitar	Piano
Nothing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FFT_Invert	0	0	0	0	0	50.42	45.19	43.39	50.24	52.81
FFT_RealReverse	46.11	36.54	32.08	39.22	40.85	11.26	16.34	14.15	19.02	9.85
Invert	0	0	0	0	0	50.01	48.07	61.31	56.09	43.66
LPF	0	0	0	0	0	5.82	27.40	7.54	4.87	20.42
LSBZero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Normalize	0	0	0	0	0	40.88	35.09	27.35	51.21	38.02
Crop	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BPF	1.69	0.00	3.77	1.96	0.00	48.85	49.51	48.11	50.24	47.88
Codecs	4.62	4.54	7.55	0	0	41.38	45.67	35.84	52.19	52.81
Echo	40.20	29.81	30.19	32.35	29.58	48.79	46.15	50.94	51.21	51.40
Resampling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amplitude Compression	0	0	0	0	0	0.92	0	1.86	0	0
Noise Addition	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

원본 파일에 워터마크를 삽입하지 않고 제안한 알고리즘으로 워터마크를 검출하였을 경우, 측정된 BER은 40~50%의 결과가 나왔다. 즉, BER이 약 40% 정도가 넘는 경우에는 워터마크 검출 결과를 신뢰할 수 없다. 표 2의 실험 결과를 보면 제안한 알고리즘을 적용하여 워터마크를 검출할 때 대부분의 공격에 약 5%이하의 BER을 보여 공격에 강인함을 확인할 수 있었다. 그러나 FFT Realreverse 공격과 Echo 공격의 경우에는 약 40% 이상의 높은 BER 결과를 보였다. FFT Realreverse 공격은 푸리에 변환 후 실수부의 순서를 역으로 바꾸는 것으로, 주파수 크기 응답이 달라지게 되는데 제안한 알고리즘에서는 음질을 유지하기 위해 주파수 크기 응답의 미러(mirror) 부분에는 워터마크를 삽입하지 않았다. 그러나 FFT Realreverse 공격으로 워터마크된 부분과 미러부분이 전환되어 실제 워터마크가 삽입되지 않은 부분에서 검출이 이루어지기 때문에 BER이 높게 측정되었다. 그러나 이 공격은 가역적(invertible)이어서 공격에 대한 정보가 디코더에 제공된다면 BER이 0%가 될 수 있다.

Echo 공격은 신호를 중첩시켜 원신호의 스펙트럼에 변화가 생기게 되므로 대역별 에너지가 변하게

된다. 그런데 제안한 알고리즘은 대역별 에너지를 이용하여 워터마크 삽입 위치를 정하기 때문에 echo 공격을 받으면 워터마크 삽입 위치와 검출 위치가 달라져 BER이 높았다.

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 대역별 에너지를 계산하여 신호의 주요 부분인 피치가 포함된 대역을 찾고, 주파수 크기 응답에 따라 적응적인 스텝사이즈를 가지는 QIM을 이용하는 방식과 이 스텝사이즈를 고려한 문턱값을 적용하여 공격에 강인한 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. Stirmark, SDMI, STEP2000 벤치마킹에 사용되는 공격 50여종 중에서 주로 사용되는 14가지를 선택하여 강인성 검증을 한 결과, 스펙트럼에 큰 영향을 주는 몇몇 공격을 제외한 대부분의 공격에서 강인한 결과를 보였다. 스펙트럼에 영향을 주거나 미러부분에서 워터마크를 검출하게 되는 경우에 BER이 높은 이유는 워터마크의 삽입위치와 검출위치가 달라졌기 때문이다. 그러므로 공격에 강인한 워터마크 삽입 위치를 찾는 방법이 필요할 것이다. 향후 Echo 공격을 포함한 다른 공격에 대해서도 실험이

수행되어야 할 것이며, 프레임 동기화 문제도 고려하여 제안한 알고리즘을 개선해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 2001.
- [2] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding," *IBM Systems Journal*, Vol.35, No.3-4, pp. 313-336, 1996.
- [3] 오현오, 김현욱, 윤대회, 석종원, 홍진우, "강인한 오디오 워터마킹을 위한 새로운 반향 커널 설계," 한국음향학회지, 제20권, 제2호, pp. 66-76, 2001.
- [4] M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfix, "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.
- [5] 강명수, 홍연우, 서예진, 정의필, 조상진, "LPC 포락선을 이용한 오디오 워터마킹," 한국신호처리시스템학회 2010 하계학술대회논문지, 제11권, 제1호, pp. 118-121, 2010.
- [6] T. Page, "Digital Watermarking as a form of Copyright Protection," *Compute Law & Security Review*, Vol.14, No.6, pp. 390-392, 1998.
- [7] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for Data Hiding," *IBM Systems Journal*, Vol.35, No.3, pp. 313-336, 1996.
- [8] M. Stadler, J. M. Piveteau, and J. Camenisch, "Fair Blind Signatures," *In Advances in Cryptology, Eurocrypt '95, LNCS 921*, pp. 209-219, 1995.
- [9] 석성진, 정태연, 황희철, 이경환, 김덕규, "웨이블릿 패킷을 이용한 디지털 워터마킹 알고리즘," 한국멀티미디어 학회 2002 춘계학술대회논문집, 제6권, 제1호, 2002.
- [10] 이태홍, 이경훈, 김용훈, "웨이블릿 기반의 강인한 패턴 디지털 워터마킹 방법," 한국멀티미디어학회논문지, 제7권, 제1호, pp. 98-105, 2004.
- [11] 이윤호, 이광우, 김승주, 원동호, 양형규, "QIM 워터마킹 방식에서의 양자화 구간 간격 최적화에 관한 연구," 정보보호학회논문지, 제16권, 제1호, pp. 45-53, 2006.
- [12] B. Chen and G. W. Wornell, "Quantization Index Modulation : A Class of Provably Good Methods for Digital Watermarking and Information embedding," *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol.47, No.4, pp. 1423-1443, 2001.
- [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] A. Sarkar and B. S. Manjunath, "Double Embedding in the Quantization Index Modulation Framework," *Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 3653-3656, 2009.
- [15] MarkAny Inc., "마크애니 오디오 워터마킹 솔루션 MAO TM 3.0," MarkAny Inc., pp. 1-13 2010
- [16] 강상익, "디지털 워터마킹 국내·외 표준화 동향," TTA 저널 통권, 제73호 pp. 138-145, 2001.
- [17] 오재호, 조시용, 김선행, "주파수 영역에서의 최적 워터마크 삽입영역 선정에 대한 연구," 한국신호처리시스템학회지, 제3권, 제3호, pp. 36-40, 2002.
- [18] 김현욱, 오현오, 윤대회, 차일환, "공격에 강인한 고음질 디지털 오디오 워터마킹 시스템에 관한 연구," 제13회 신호처리합동학술대회 논문집, 제13권, 제1호, pp. 771-774, 2000.
- [19] A. Lang, Stirmark benchmark for audio, <http://www.witi.cs.uni-magdeburg.de/~alang/smba.php>, 2007.
- [20] Y. Lin and W. H. Abdulla, "Audio Watermarking for Copyright Protection," *Technical Report, School of Engineering Report*, No. 650, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 2007.
- [21] The Japanese Society for Rights of Authors,

Composers and Publishers (JASRAC), Nomura Research Institute, Ltd. (NRI), "Announcement of Evaluation Test Results for "STEP 2000", International Evaluation Project for Digital Watermark Technology for Music," <http://www.jasrac.or.jp/watermark/ehoukoku.htm>, 2000.

서 예 진

2002년 2월 울산대 전기전자및자
동화공학부(공학사)
2004년 2월 울산대 전기전자정보
시스템공학과(공학석사)
2011년 2월 울산대 컴퓨터정보통
신공학과(박사수료)

관심분야: 디지털신호처리, 워터마크, DSP 응용

조 상 진

1997년 2월 울산대 전자공학과
(공학사)
2002년 2월 울산대 전자공학과
(공학석사)
2007년 2월 울산대 컴퓨터정보통
신공학과(공학박사)

2009년 3월~현재 울산대 전기공학부 연구교수
관심분야: 디지털신호처리, 악기음향, DSP 응용

정 의 필

1978년 2월 울산대 전기공학과
(공학사)
1980년 2월 고려대 전기공학과
(공학석사)
1986년 1월 미국 Oregon State
University 전기 및 컴퓨
터공학과(공학석사)

1996년 12월 미국 뉴욕대(Polytechnic) 전자공학과(공학
박사)
1986년 9월~1990년 12월 미국 Bruckner Mobile Elec-
tronics, 전자 및 통신 엔지니어
1994년 1월~1996년 5월 미국 뉴욕대(Polytechnic)
CATT 연구소 Research Fellow
1997년 3월~현재 울산대 전기공학부 교수
2011년 3월~현재 울산대 고래연구소 소장
관심분야: 신호처리, 고장진단, 3D사운드, 워터마킹