

논문 2012-49CI-4-3

# 심리음향 모델 II와 MDCT를 이용한 오디오 포렌식 마킹

## (Audio Forensic Marking using Psychoacoustic Model II and MDCT)

이 강 현\*

(Kang Hyeon RHEE)

## 요 약

본 논문에서는 심리음향 모델(Psychoacoustic model) II와 MDCT를 이용한 고품질 오디오 포렌식 마킹 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 오디오 신호의 에너지가 스펙트럼 마스킹 레벨보다 적은 서브밴드를 선택하여 콘텐츠 사용자의 핑거프린팅 코드를 삽입하는 포렌식 마킹 방법이다.

원 오디오 신호의 FFT 처리를 위한 2,048 샘플의 한 프레임 범위에서, 3개의 서브밴드를 선택하여 포렌식 마킹을 한다. 핑거프린팅 코드의 평균화 공격에 따른 공모코드의 100% 추적율을 갖는 범위에서, 한 프레임의 SNR을 측정하였다. 핑거프린팅 코드의 최저강도 0.1 삽입에서 SNR은 38.44dB 이며, 화이트 가우시안 노이즈의 강도 0.5가 추가된 SNR은 19.09dB로 제안된 오디오 포렌식 마킹 알고리즘은 핑거프린팅 코드의 마킹 강인성과 오디오 고품질이 유지됨을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, the forensic marking algorithm is proposed using psychoacoustic model II and MDCT for high-quality audio. The proposed forensic marking method, that inserts the user fingerprinting code of the audio content into the selected sub-band, in which audio signal energy is lower than the spectrum masking level.

In the range of the one frame which has 2,048 samples for FFT of original audio signal, the audio forensic marking is processed in 3 sub-bands. According to the average attack of the fingerprinting codes, one frame's SNR is measured on 100% trace ratio of the collusion codes.

When the lower strength 0.1 of the inserted fingerprinting code, SNR is 38.44dB. And in case, the added strength 0.5 of white gaussian noise, SNR is 19.09dB. As a result, it confirms that the proposed audio forensic marking algorithm is maintained the marking robustness of the fingerprinting code and the audio high-quality.

**Keywords**: Audio forensic marking, Multimedia fingerprinting code, Psychoacoustic model II, MDCT(Modified Discrete Cosine Transform), DRM(Digital Rights Management) free.

## I. 서 론

DRM(Digital Rights Management)이 없는 오디오 서비스(Audio service)의 편의성을 위하여, Apple의 Steve Jobs가 2007년에 제안하면서 DRM free 서비스가 확산되었다. 그러나 오디오 콘텐츠의 저작권 침해가

심각하게 대두되고, 이에 대한 방지책으로 DRM free의 해결방안으로 오디오 포렌식 마킹(Audio Forensic Marking)의 연구<sup>[1~2]</sup>가 진행되고 있다.

포렌식 마킹은 저작권자를 확인할 수 있는 워터마킹(Watermarking)의 확장기술로, 콘텐츠가 불법으로 배포되었을 때, 배포자를 추적할 수 있도록 콘텐츠에 구매자 또는 사용자 각각의 유일한 핑거프린팅 코드(Fingerprinting code)를 워터마크로 삽입하는 기술이다. 이러한 포렌식 마크로 사용하는 코드가 콘텐츠의 공격으로 변형이 되어도, 누구의 사용자 코드가 변형되었는지 추적이 용이하여야 한다. BIBD(Balanced Incomplete

\* 평생회원, 조선대학교 전자정보공과대학 전자공학과 (Dept. of Electronics Eng., Chosun University, Gwangju)

※ 본 논문은 한국연구재단의 일반연구지원사업 2011-0026144으로 수행되었습니다.

접수일자: 2012년6월18일, 수정완료일: 2012년7월4일

Block Design) 코드는 확장성 및 탄력성(Resiliency)의 특성이 있으므로, 사용자의 핑거프린팅 코드<sup>[3]</sup> 및 포렌식 마킹<sup>[4]</sup>에 활용되고 있다. 그리고 삽입된 코드의 검출에서, 넌-블라인드 검출(Non-blind Detection)은 불법 배포자의 추적 및 저작권 증명에, 블라인드 검출은 저작권 통보 및 복제방지에 활용이 된다<sup>[5]</sup>.

오디오 신호에 코드를 삽입하는 워터마킹 방법으로, LSB(Least Significant Bit) 코딩과 Phase 코딩, Echo hiding 코딩 등의 방법이 있다<sup>[6~8]</sup>. 그리고 의사난수와 통계적인 과정에 기반을 둔 Patchwork 방법<sup>[9]</sup>과 Cox<sup>[10]</sup>가 제안한 확산 스펙트럼(Spread spectrum)을 이용하는 방법, 심리음향 모델(Psychoacoustic model)을 이용하는 방법<sup>[11~12]</sup> 등이 있다.

확산 스펙트럼을 이용한 방법은 의사잡음 코드의 높은 자기 상관성을 이용하므로 삽입된 코드가 간섭에 강한 특징이 있어 검출이 용이하지만, 오디오의 음질저하를 갖게 된다. Phase 코딩 방법은 인간의 청각 시스템이 절대 위상을 잘 구별하지 못하는 특성을 이용하여 오디오 신호의 푸리에 계수(Fourier coefficient) 위상정보에 코드를 삽입한다. 이 방법은 음질 면에서 효과적이지만, 오디오 데이터 압축과정에서 위상 정보의 변형으로 워터마킹의 강인성이 저하된다. D.Gruhl과 W.Bender<sup>[8]</sup>이 제안한 Echo hiding 코딩은 인간의 청각 시스템이 인지하지 못하는 작은 반향에 워터마크를 삽입한다. 이 방법은 모든 주파수 대역을 사용하므로 주파수 대역의 신호 특성을 고려하여 워터마크를 삽입할 수 없다. 또한 삽입되는 워터마크 양을 증가시키기 위해서는 반향 신호가 반복적으로 삽입되기 때문에 오디오 신호의 음질과 워터마크의 강인성이 저하된다. 이를 개선하기 위하여 주파수 대역을 부대역으로 분할하여 처리하는 방법도 제안되었다<sup>[13]</sup>.

인간의 심리는 시각적 정보는 논리적으로, 청각은 감성적으로 반응을 한다. 따라서 심리음향 모델이 오디오 신호처리, 오디오 데이터 압축에 사용되며, 이를 이용한 대역 확산 오디오 워터마킹 방법<sup>[11]</sup>도 제안되었으나, 의사 랜덤 코드를 이용한다는 면에서는 음질의 저하와 데이터 압축과정에서 워터마크의 강인성이 저하된다.

본 논문에서는 기존의 오디오 워터마킹의 음질저하 개선과 워터마크의 강인성 향상, 그리고 오디오 콘텐츠의 불법 배포자를 추적할 수 있는 오디오 포렌식 마킹을 제안한다. 이를 위하여 심리음향 모델 II와 MDCT를 이용하여 음질저하 없이 사용자의 핑거프린팅 코드를 오디오 에너지 신호가 마스킹 스펙트럼 에너지보다 적은 서브밴드를 선택하여 삽입하고, 넌-블라인드 방식에 의해 검출된 핑거프린팅 코드의 공모 유무와 공모자를 추적할 수 있는 새로운 오디오 포렌식 마킹 알고리즘을 구현한다.

본 논문의 II장에서는 심리음향 모델 II를 이용한 오디오 포렌식 마킹 알고리즘을 제안한다. III장에서 제안된 알고리즘의 성능평가를 위한 실험 및 결과를 검토하고, 오디오 콘텐츠의 불법 공모자 추적율을 계산한다. 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 오디오 포렌식 마킹의 제안 알고리즘.

### 1. 사용자 핑거프린팅 코드 삽입

오디오 신호에 사용자의 핑거프린팅 코드를 삽입하면 원 오디오 신호에 왜곡이 발생하므로, 음질 저하를 방지하고 오디오 콘텐츠의 공모공격에서 공모된 코드를 검출하여 공모자를 추적할 수 있는 강인성이 있어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 각 코드 관계에서 탄력성(Resiliency)의 특성이 있는  $\{v, k, \lambda\}$  BIBD 코드<sup>[3]</sup>를

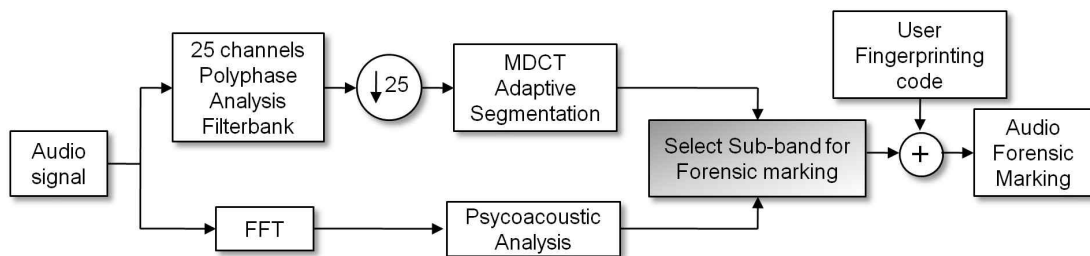


그림 1. 제안된 오디오 포렌식 마킹 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1. Flow-chart of the proposed audio forensic marking algorithm.

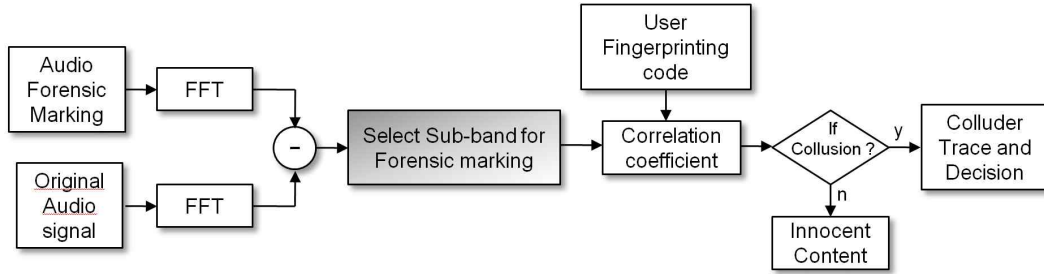


그림 2. 핑거프린팅 코드 검출과 공모자 추적판정 흐름도  
 Fig. 2. Flow-chart of the fingerprinting code detection and the colluder trace and decision.

사용자의 핑거프린팅 코드로 사용한다. 이 코드는 각 코드 사이에 1의 탄력성 관계가 있는 특성이 있으므로 오디오 콘텐츠의 공모공격에 참여한 공모자를 추적할 수 있다. 그리고 오디오의 음질과 핑거프린팅 코드의 강도 유지를 위하여, 심리음향 모델 II를 이용하여 핑거프린팅 코드가 삽입되는 서브밴드 위치를 선택한다. 제안된 오디오 포렌식 마킹 알고리즘의 흐름도는 그림 1과 같다.

2. 핑거프린팅 코드 검출과 공모자 추적판정

그림 2는 핑거프린팅 코드 검출과 공모자 추적판정을 위한 흐름도 이다.

- 1) 포렌식 마킹된 오디오 신호와 원 오디오 신호의 FFT 처리 후, 차분신호를 구하고,
- 2) 포렌식 마킹이 된 서브밴드 영역의 차분신호와 사용자의 핑거프린팅 코드와의 상관관계 계수를 구하여 콘텐츠의 순수성 및 공모공격 여부를 판정하고,
- 3) 공모공격이 이루어진 오디오 콘텐츠인 경우, 2)의 상관관계 계수를 이용하여 공모자를 추적하고 판정한다.

III. 성능평가 및 결과고찰

본 논문에서 제안된 오디오 포렌식 마킹의 알고리즘 성능평가를 위하여, 표 1의 BIBD 코드를 7명 사용자의 핑거프린팅 코드 7비트(v), 탄력성 2비트(λ)를 삽입하여 실행하였다.

그림 3은 실험에 사용된 샘플링주파수 44,1KHz, 16 비트 양자화, 모노채널의 “piano.wav”이며, 2,048 point

표 1. 사용자의 핑거프린팅 코드 ({7,4,2} BIBD code).  
 Table 1. User Fingerprinting code ({7,4,2} BIBD code).

User No.	User Fingerprinting code
User 1	1 0 1 0 1 0 1
User 2	0 1 1 0 0 1 1
User 3	1 1 0 0 1 1 0
User 4	0 0 0 1 1 1 1
User 5	1 0 1 1 0 1 0
User 6	0 1 1 1 1 0 0
User 7	1 1 0 1 0 0 1

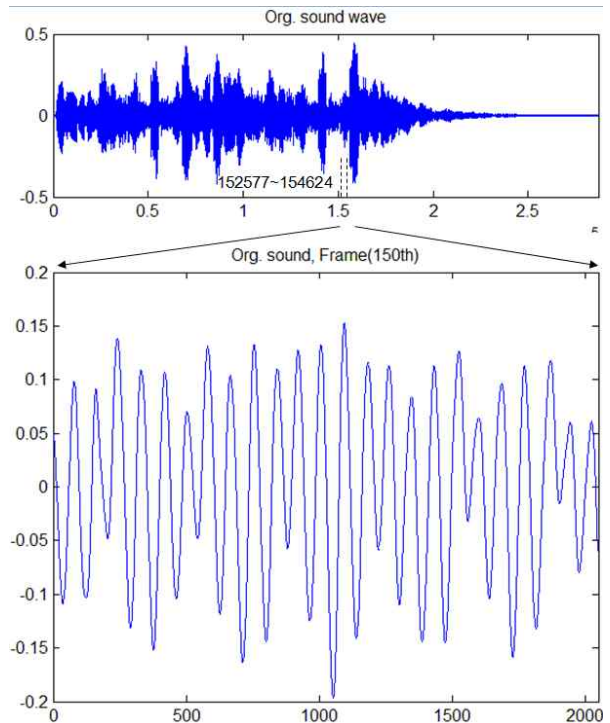


그림 3. 성능평가에 사용된 “piano.wav”와 150번째 프레임. (샘플번호: 152,577~154,624).

Fig. 3. “piano.wav” for performance evaluation and the 150th frame. (sample No. 152,577~154,624),

FFT를 위한 150번째 프레임(샘플번호: 152,577~154,624)을 보여주고 있다.

오디오 사용자의 핑거프린팅 코드가 포렌식 마킹이 되는 제안된 알고리즘은 심리음향 모델 II에 의하여 오디오 신호의 에너지가 마스킹 스펙트럼 에너지 레벨보다 낮은 서브밴드의 필터뱅크를 선택하는데, 본 실험에서는 음질과 SNR 및 SMR을 고려하여 3개의 서브밴드를 선택하여 핑거프린팅 코드를 삽입하였다.

성능 평가를 위하여 삽입되는 핑거프린팅 코드의 강도와 화이트 가우시안 노이즈의 강도는 각각 0.1~0.9까지 변화하여 삽입하였다.

그림 4는 150번째 프레임의 FFT 처리(a)와 마스킹 스펙트럼에 따른 원 오디오 신호(b), 그리고 오디오 신호의 에너지가 마스킹 에너지보다 적은 서브밴드 번호 0, 7, 23에 사용자의 핑거프린팅 코드의 강도 0.7(c)과 여기에 화이트 가우시안 노이즈 강도 0.3(d)이 삽입된

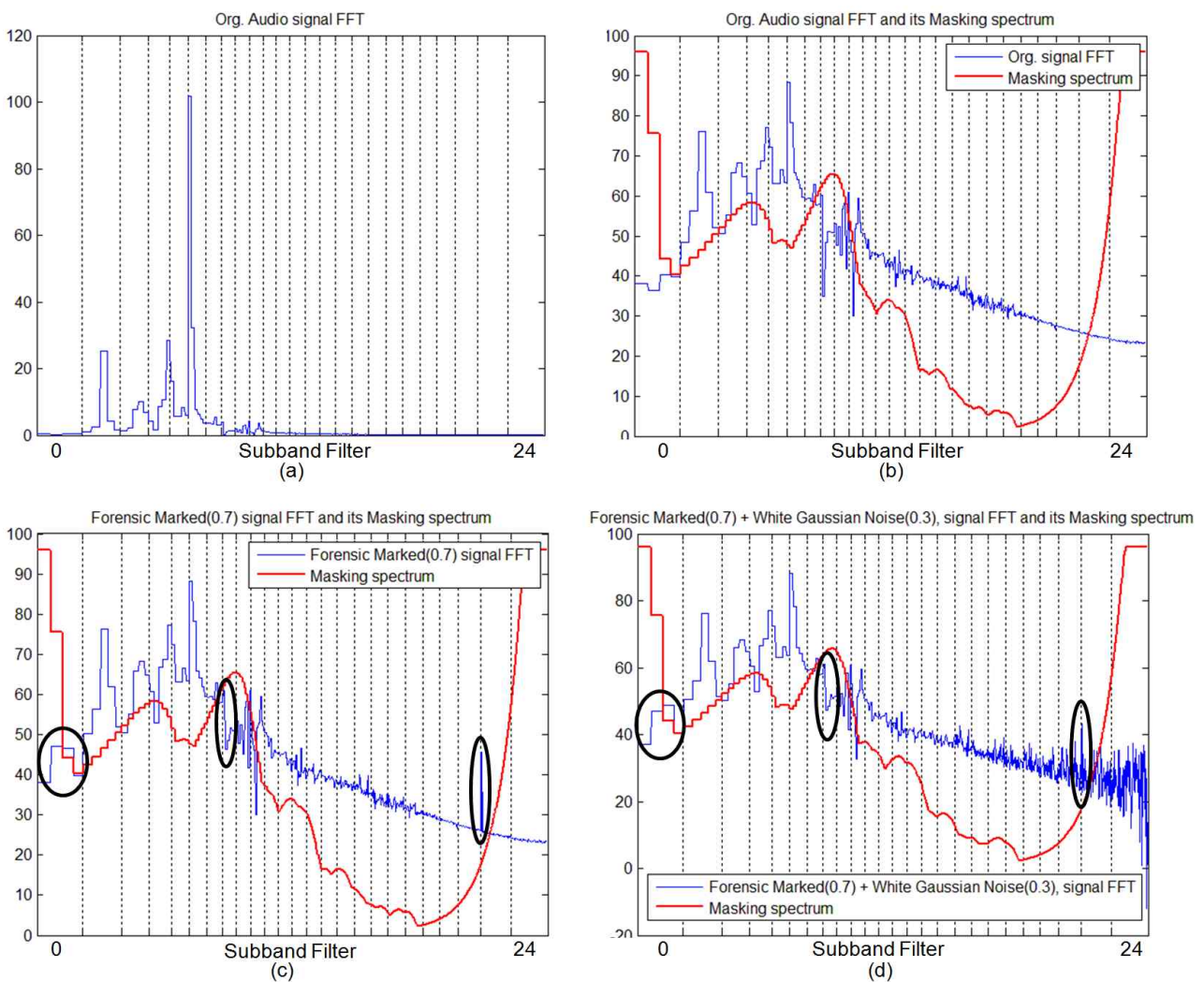


그림 4. (a) 원 오디오 신호(150번 프레임 : 샘플번호 152,577~154,624)의 FFT  
 (b) 원 오디오 신호의 FFT와 마스킹 스펙트럼  
 (c) 포렌식 마크(0.7)된 오디오 신호의 FFT와 마스킹 스펙트럼  
 (d) 포렌식 마크(0.7)과 화이트 가우시안 노이즈(0.3)가 첨가된 오디오 신호의 FFT와 마스킹 스펙트럼

Fig. 4. (a) Original audio signal(150th frame : Sample No. 152,577~154,624) FFT.  
 (b) Original audio signal FFT and its Masking spectrum.  
 (c) Forensic masked(0.7) signal FFT and its Masking spectrum.  
 (d) Forensic masked(0.7) + White gaussian noise(0.3) signal FFT and its Masking spectrum.

표 2. 공모자 수와 공모에 참여한 사용자 번호.  
Table 2. Number of colluder and the User No. of the participated collusion.

공모자의 수( $CLn$ )	공모에 참가한 사용자 번호
2	2, 7
3	2, 4, 7
4	1, 3, 5, 6
5	1, 2, 4, 5, 7
6	1, 3, 4, 5, 6, 7
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

표 3. 포렌식 마킹과 WGN 삽입강도에 따른 공모자 검출율  
Table 3. Colluder detection ratio between the insertion strength of forensic marking and WGN.  
A: FMs(Forensic Marking strength)  
B: WGNs(WGN Strength)

A	B	Number of the colluders						
		2	3	4	5	6	7	
0.1	0	1	1	1	1	1	0.14	
	0.1	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.3	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.5	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.7	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.	
	0.9	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0	
0.3	0	1	1	1	1	1	0.14	
	0.1	1	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.3	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.5	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.7	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.9	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
0.5	0	1	1	1	1	1	0.14	
	0.1	1	1	0.5	0.4	0.17	0.14	
	0.3	0.5	0.33	0.5	0.2	0.17	0.14	
	0.5	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.7	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.9	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
0.7	0	1	1	1	1	1	0.28	
	0.1	1	1	0.75	0.4	0.33	0.14	
	0.3	1	0.33	0.5	0.2	0.17	0.14	
	0.5	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.7	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.9	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
0.9	0	1	1	1	1	1	0.43	
	0.1	1	1	1	0.6	0.33	0.28	
	0.3	1	0.67	0.5	0.4	0.17	0.14	
	0.5	0.5	0.33	0.25	0.2	0.17	0.14	
	0.7	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	
	0.9	0.5	0.33	0	0.2	0.17	0.14	

오디오 포렌식 마킹('0' 부분)을 보여주고 있다. 그리고 실험을 위하여, 표 2와 같이 공모에 참가한 사용자들이 자신의 오디오 신호를 평균화하여 공모공격이 이루어졌을 때, 각 사용자의 핑거프린팅 코드와 공모된 코드와의 상관관계 계수를 구하여 코드가 삽입된 3개의 서브밴드에서 검출된 값 중에서, 2개 이상이 쓰레숄드(threshold) 이상이면, 이 핑거프린팅 코드는 공모에 사용되었으며, 그 사용자는 공모자로 판정이 된다.

표 3은 포렌식 마킹 삽입강도가 0.1~0.9에서 WGN 강도를 0~0.9로 삽입하였을 때, 공모자의 검출율을 보여주며, 음영부분에 해당하는 공모자가 일부 예로서 2명, 4명, 7명일 때, 사용자의 원 핑거프린팅 코드와 평균화 공모공격 코드 간의 상관관계 계수를 보여준다. 표

표 4. 포렌식 마킹과 WGN 삽입강도에 따른 공모자 결정 예.

Table 4. Example of the colluder decision by the insertion strength of forensic marking and WGN.  
A: FMs(Forensic Marking strength)  
B: WGNs(WGN Strength)  
C: Collusion participation  
D: User No.

A	B	C	D	Subband filter No.			Colluder decision, (Trace ratio)
				1	7	24	
0.1	0		1	-0.26	-0.26	-0.26	2, 7 (100%)
		●	2	0.65	0.65	0.65	
			3	-0.26	-0.26	-0.26	
			4	-0.26	-0.26	-0.26	
			5	-0.26	-0.26	-0.26	
			6	-0.26	-0.26	-0.26	
		●	7	0.65	0.65	0.65	
0.5	0.3	●	1	-0.11	0.01	0.50	3, 6 (50%)
			2	0.82	-0.52	-0.36	
		●	3	0.12	-0.30	0.29	
			4	-0.57	-0.36	-0.81	
		●	5	-0.36	0.12	0.09	
		●	6	0.13	0.29	0.19	
			7	-0.02	0.76	0.10	
0.9	0.9	●	1	-0.26	-0.10	0.48	7 (14%)
		●	2	0.88	-0.35	-0.22	
		●	3	-0.06	-0.41	0.19	
		●	4	-0.25	-0.21	-0.82	
		●	5	-0.46	0.01	-0.08	
		●	6	-0.06	0.17	0.05	
		●	7	0.20	0.89	0.41	

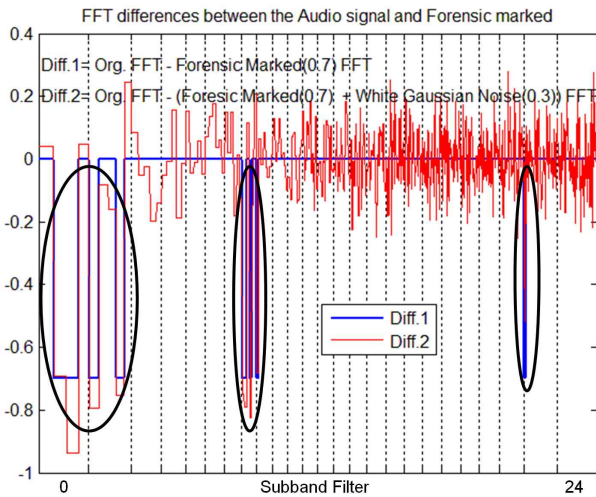


그림 5. 원 오디오 신호와 포렌식 마크된 오디오 신호의 FFT 차 신호.

Fig. 5. FFT difference signals between the audio signals of the original and forensic marked.

표 5. 포렌식 마킹과 WGN 삽입강도에 따른 SNR 측정.

Table 5. Measured SNR between the insertion strength of forensic marking and WGN.

A: FMs(Forensic Marking strength)  
B: WGNs(WGN strength)

A	B					
	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9
0.1	38.44	34.87	26.70	22.38	19.49	17.32
0.3	28.90	27.94	25.33	21.87	19.24	17.16
0.5	24.46	23.87	22.47	20.89	18.72	16.86
0.7	21.54	21.11	20.27	19.09	17.97	16.41
0.9	19.36	19.02	18.39	17.54	16.67	15.79

렌식 마킹이 된 3개의 서브밴드 번호 0, 7, 24 중에서 상관관계 계수 0.1 이상이 2개인 사용자는 자신의 코드로 공모에 참여한 공모자로 판정이 된다. 그리고 표 1의 각각의 사용자 핑거프린팅 코드는  $\lambda=2$ 인 탄력성 관계가 있으므로, 이를 이용하여 표 2의 각 공모자 수에 따른 검출되지 않은 나머지 공모자를 추적할 수 있다.

그림 5는 원 오디오 신호와 포렌식 마크된 신호(0.7), 그리고 포렌식 마크(0.7)와 화이트 가우시안 잡음(0.3)의 차 신호를 보여준다. 이에 따른 음질의 측정을 하였다. 오디오 음질의 SNR(Signal to Noise Ratio) 측정 계산은 식 (1)과 같으며, 150번 프레임의 2,048 샘플 구간에 대해서만 측정된 결과는 표 5와 같다.

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{Original\ Audio^2}{Noise^2} \right) \quad (1)$$

$$Noise = Original\ Audio\ signal - Forensic\ marked\ Audio\ signal$$

표 3과 5에 의하여 본 논문에서 제안된 고음질 오디오 포렌식 마킹을 위하여 공모자의 검출비 CDR (Collusion Detection Ratio)와 SNR의 정의된 식은 (2)와 (3)과 같다.

$$CDR = 0.15FMs - 0.56WGNs - 0.09CLn + 0.09 \quad (2)$$

$$SNR = -10.74FMs - 2.9/10^{15}WGNs - 2.06CLn + 36 \quad (3)$$

여기서  $CLn$ 은 표 2의 공모자의 수.

오디오 포렌식 마킹의 강인성과 고음질 유지를 위하여 WGN 강도 0.5 이내에서 마킹 강도는 0.7이 실험을 통하여 확인되었다.

#### IV. 결론

오디오 DRM free에 따른 심각한 저작권 침해와 불법 복제, 배포의 해결책으로 오디오 포렌식 마킹의 기술개발이 요구된다. 이에 따라 본 논문에서는 심리음향 모델 II를 이용하여, 오디오 신호의 에너지가 마스킹 스펙트럼의 에너지 레벨보다 작은 서브밴드에서 사용자의 핑거프린팅 코드를 삽입하는 오디오 포렌식 마킹 알고리즘을 구현하였다. 기존의 오디오 워터마킹은 심리음향 모델을 이용하고 워터마크를 랜덤 신호를 스펙트럼 확산방식으로 삽입하므로, 음질의 저하와 원 마크 신호의 감쇠 현상이 나타났다. 본 연구의 오디오 포렌식 알고리즘은 기존 방식에 비하여 콘텐츠 사용자의 핑거프린팅 코드가 마스킹 스펙트럼 에너지 레벨 이하에 삽입되므로 음질의 저하가 없으며, 공모공격에도 강인성을 갖게 된다. 핑거프린팅 코드의 평균화 공격에 따른 공모코드의 100% 추적율을 갖는 범위에서 핑거프린팅 코드의 삽입강도 0.1~0.9에서 SNR은 38.44~19.36이며, 여기에 화이트 가우시안 노이즈 강도 0.1~0.9가 추가된 SNR은 34.87~15.79로 오디오 포렌식 마킹과 고음질의 강인성이 유지됨을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 구현된 오디오 포렌식 마킹 알고리즘은 반공모성이 우수하여 포렌식 시스템에 응용할 수 있다.



## 감사의 글

본 연구 분야의 선행연구자들이 수행해 주신 연구결과가 있었기에 본 연구를 수행할 수 있어서, 선행연구자님들께 진심으로 경의를 표합니다. 그리고 뒤의 보이지 않은 심사위원들께서 세심히 지적해 주신 사항으로 보다 논문의 완성도를 이룰 수 있어서 감사의 말씀을 드립니다.

## 참고 문헌

- [1] Maher R., "Audio forensic examination," Signal Processing Magazine, IEEE Vol. 26, Issue 2, pp.84-94, 2009
- [2] Li De, Jong Weon Kim, "Audio forensic marking using quantization in DWT-SVD domain," Advanced Communication Technology, 13th Int'l Conf.(ICACT 2011), pp.988-991, 2011
- [3] 이강현, "BIBD 기반의 멀티미디어 핑거프린팅 코드의 공모코드들에 대한 공모자 추적," 대한전자공학회, 전자공학회논문지-CI, 제46권 제6호, pp.79-86 2009.11
- [4] 이강현, "포렌식 마킹을 위한 특징점 기반의 동적 멀티미디어 핑거프린팅 코드 설계," 대한전자공학회, 전자공학회논문지-CI, 제48권 CI편 제4호, 27-34쪽, 2011.7
- [5] I. J. Cox, M. L. Miller and J. A. Bloom, Digital Watermarking, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002.
- [6] A multiple audio watermarking algorithm based on shear resisting DWT and LSB Liu Tianchi; Yang Guangming; Wang Qi; Networked Computing (INC), 2011 The 7th International Conference on Publication Year: 2011 , Page(s): 78 - 83
- [7] Kuo Shyh-shiaw, Johnston James D., Turin William, Quackenbush Schuyler R., "Covert audio watermarking using perceptually tuned signal independent multiband phase modulation," Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2002 IEEE Int'l Conf. on, Vol. 2, pp. II-1753-1756, 2002
- [8] D. Gruhl, A. Lu, and W. Bender, "Echo Hiding," in Proc. Information Hiding Workshop(University of Cambridge, U.K), pp. 295-315, 1996
- [9] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, "Techniques for data hiding," IBM Systems J. vol. 35, no. 3-4, pp. 313-336, 1996.
- [10] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [11] 노진수, 이강현, "대역확산과 심리음향 모델을 이용한 고음질 오디오 워터마킹," 대한전자공학회, 전자공학회논문지-CI, 제43권 제5호, 48-56쪽, 2006년.
- [12] M. Swanson, B. Zhu, A. Tewfik, and L. Boney, "Robust audio watermarking using perceptual masking," Signal Processing, Vol. 66, No. 3, pp. 337-355, May 1998.
- [13] 조재원, 박하중, 정현열, 정호열, "부대역 신호 기반 반향 워터마킹," KICS, 2003.

---

## 저 자 소 개

---

이 강 현(평생회원)-교신저자  
대한전자공학회 논문지  
CI편 48권 6호 참조