

공기 중 음향 전송 시 부가 정보 삽입을 위한 오디오 워터마킹 기법

(Audio Watermarking Technique for Embedding Side Information during Acoustic Transmission through the Air)

최 준 환[†] 송 원 석[†] 최 혁^{**} 김 태 정^{***}
(Joon Hwan Choi) (Wonseok Song) (Hyuk Choi) (Taejeong Kim)

요 약 오디오 워터마킹이란 오디오 신호에 귀에 들리지 않게 정보를 삽입하는 과정을 말하며, 주로 저작권 보호 목적에 이용되어 왔다. 본 연구에서는 오디오 워터마킹을 저작권 보호가 아닌 사용자 편의를 위한 부가 정보 전송이라는 목적에 이용하고자 하며, 이러한 목적에 적합한 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 오디오 워터마킹 알고리즘은 공기 중 음향 전송을 통해 스피커로부터 모바일 장치로 부가 정보를 전송하는 방식이며, 오디오 신호의 에너지 변조를 이용한 워터마크 삽입/추출 방법 및 2단계에 걸친 효율적인 동기화 방법을 포함한다. 제안된 알고리즘은 스피커 시스템과 휴대폰 단말기를 이용한 실험을 통해 그 성능을 평가하였으며, 실험 결과 5m 거리에서 성공적으로 부가 정보를 전송이 가능함을 확인하였다. 이는 기존의 방식보다 높은 성능이다.

키워드 : 오디오 워터마킹, 공기 중 음향 전송, 부가 정보, 에너지 변조, 동기화

Abstract Audio watermarking is the process of embedding inaudible information in an audio signal and has been widely used for copyright protection. In this research, we use the audio watermarking not for copyright protection but for the transmission of side information for user convenience, presenting an algorithm suitable for this purpose. Our new algorithm includes watermark embedding/extraction methods during acoustic transmission through the air that employ energy modulation of the audio signal and an efficient two-step synchronization method. The proposed algorithm is evaluated in experiments of conveying information from audio speakers to a mobile phone. The results show that reliable transmission is possible within a 5m range, which is an improvement achieved by our algorithm as compared to the existing one.

Key words : Audio watermarking, Acoustic transmission through the air, Side information, Energy modulation, Synchronization

1. 서론

디지털 워터마킹이란 저작권 보호나 복제 방지를 위해 추후에 검출 가능한 신호를 인간이 인식할 수 없도록 디지털 데이터에 삽입하는 기술을 말한다[1]. 디지털 워터마킹 기술은 이미지, 비디오를 포함한 여러 형태의 멀티미디어 데이터에 적용되어 왔으며, 본 논문에서 다루고 있는 오디오 데이터에 대해서도 다양한 형태의 디지털 워터마킹 기법이 다수 제안되었다. 오디오 데이터에 적용된 디지털 워터마킹을 오디오 워터마킹이라 하며, 대표적인 방식은 다음과 같이 분류된다.

- 양자화 기법(Quantization)
- 대역확산 기법(Spread Spectrum)
- 반향음 은폐 기법(Echo Hiding)

[†] 비 회 원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
ilico@infolab.snu.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수
ch yuk@venus.uos.ac.kr

^{***} 비 회 원 : 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수
tkim@snu.ac.kr

논문접수 : 2008년 6월 16일

심사완료 : 2010년 1월 7일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제37권 제2호(2010.4)

양자화 기법은 신호를 양자화함으로써 정보를 삽입하는 기술로 Scalar costa scheme[2] 등이 대표적으로 널리 쓰이고 있다. 대역 확산 기법은 의사 랜덤 시퀀스(Pseudo-random sequence)를 생성하여 원본 신호에 더함으로써 정보를 삽입하는 기법이다[3]. 반향음 은폐 기법은 사람의 귀가 짧은 지연 시간의 반향음(Echo)을 인식하지 못함을 이용하여 짧은 반향음을 신호에 더함으로써 정보를 삽입하는 기법이다[4].

위의 방법들을 포함한 기존의 오디오 워터마킹 기법들은 대부분 저작권 보호에 그 목적이 있다. 하지만 최근 Digimarc사 등 일부 기업체에서 라디오 방송 모니터링을 위한 워터마킹 솔루션을 발표하는 등 오디오 워터마킹을 단순 저작권 보호가 아닌 부가 정보 전송이라는 목적에 활용하는 제품을 내놓고 있다. 이러한 제품들은 워터마크에 삽입된 부가 정보를 통해 주어진 광고나 프로그램이 제대로 방영되고 있는지, 또는 현재 각 프로그램의 시청률이 어떻게 되는지 등을 조사하여 콘텐츠 공급자에게 제공할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 방식도 오디오 워터마킹을 저작권 보호가 아닌 부가 정보 전송 목적에 이용한다. 다만 기존의 제품들이 콘텐츠 공급자의 정보 수집에 목적이 있다면 본 논문의 방식은 사용자 편의를 위한 부가 정보 제공에 목적이 있다. 일례로 그림 1에 스피커에서 나오는 음악을 모바일 장치로 녹음한 뒤 워터마크를 추출함으로써 제목, 음악가, 다운로드 주소 등의 부가 정보를 얻을 수 있는 시스템을 제시하였다. 이 시스템은 사용자 접근성이 높은 모바일 장치를 공기 중으로 전송되는 오디오 신호의 수신기로 활용하는 시스템이며, 본 논문에서는 이러한 시스템에 적합한 오디오 워터마킹 방식을 제안한다.

그림 1과 같이 스피커/마이크 시스템을 이용한 음향 전송 과정 중에 URL 등의 부가 정보를 제공하는 용도의 오디오 워터마킹 알고리즘은 첫째, 공기를 통한 음향 전송 환경에 대해 강인해야 한다. 공기를 통한 음향 전송은 주파수 성분 변화, 반향음, 잔향음, 외부 잡음 등 다양한 음질 저하 요인을 동반하므로 매우 어려운 조건이다. 둘째, 50bps 이상의 높은 정보 전송률을 가져야 한다. 이는 약 10초 이내의 녹음을 통해 제목, 음악가 및 URL 등의 정보를 전송할 수 있어야 상업적인 의미가 있기 때문이다.

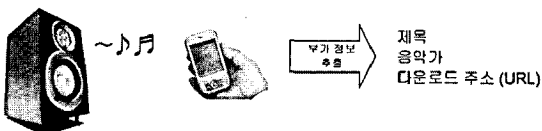


그림 1 스피커에서 나오는 음악을 모바일 장치로 녹음하여 정보를 추출하는 시스템의 예

앞서 소개한 기존의 대표적인 오디오 워터마킹 방식들은 위의 요구조건들을 모두 만족하지 못한다. 양자화 기법은 마이크 녹음 시 오디오 신호의 크기가 변하므로 사용할 수 없다. 대역 확산 기법은 이러한 공기를 통한 음향 전송 환경에서 충분히 높은 전송률을 달성하지 못함이 알려져 있으며 반향음 은폐 기법 역시 공기를 통해 전송되는 소리 자체의 반향음 때문에 적합하지 않다[5].

이러한 기존 오디오 워터마킹 방식의 한계를 극복하기 위한 방법으로 Matsuoka 등이 위상 변조(Phase modulation)에 기반하여 스피커/마이크 환경에서 동작하는 워터마킹 방식을 유일하게 제안한 바 있다[5,6]. Matsuoka 등의 방식은 스피커에서 3.5m 떨어진 모바일 장치에서 성공적으로 워터마크를 검출하는 등 우수한 성능을 보였으나 위상 변조 방식 자체의 한계로 인하여 180도의 위상차(BPSK) 이상의 강도로 워터마크 삽입이 불가능하며 검출시 동기화를 위해 대역확산 기반의 워터마크 삽입/추출이 추가적으로 요구되는 등 복잡도 면에서 개선의 여지가 있다.

본 논문에서는 부가 정보 제공을 위한 방식으로 음향 에너지를 변조 및 점수화를 통한 효율적인 2단계 동기화 방식을 이용한 새로운 워터마킹 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 Lie의 방법[7]을 기반으로 하여 스테레오 신호에 대한 처리 및 효율적인 동기화 기법이 추가된 형태이며, Matsuoka 등의 위상 변조 방식 대신 에너지 변조 방식을 이용함으로써 워터마크 삽입 에너지의 크기에 제한을 두지 않을 수 있도록 하였다. 이 때문에 제안하는 방식은 기존 방식에 비해 보다 높은 강인성을 가질 수 있다. 또한 제안하는 워터마킹 알고리즘은 동기화를 위해 별도의 대역 확산 알고리즘을 도입한 Matsuoka 등의 방식과 달리 신호의 에너지 분포 형태의 변형 자체를 이용하는 방식을 도입함으로써 상대적으로 복잡도가 낮다. 제안하는 방식은 스피커 시스템과 휴대폰을 이용한 실험에서 5m거리에서 성공적으로 동작함으로써 Matsuoka 등의 방식보다 우수한 검출 성능을 보였다.

2. 방법

2.1 제안하는 오디오 워터마킹 방식의 구조

제안하는 오디오 워터마킹 방식의 전체 동작 방식을 그림 2에 나타내었다. 먼저 오디오 신호에 부가 정보를 워터마크를 통해 삽입한 후 스피커를 통해 재생한다. 이렇게 재생된 오디오 신호를 모바일 장치의 마이크를 통해 녹음한 후 신호 동기화 및 워터마크 추출 과정을 거쳐 음악의 제목, 음악가 등의 부가 정보를 얻게 된다. 워터마크 삽입 과정, 신호 동기화 과정, 워터마크 추출 과정은 다음 절에서 자세히 다루도록 한다.

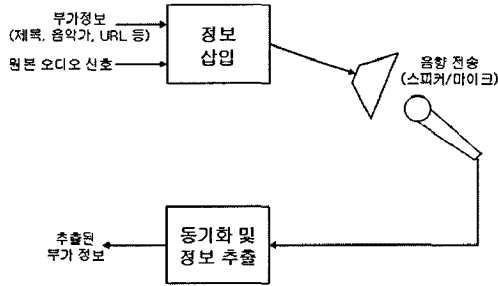


그림 2 제안한 워터마킹 방식의 전체 동작 구조

2.2 워터마크 삽입 과정 및 신호 변조 방식

그림 2의 워터마크 삽입 과정을 구체적으로 그림 3에 나타내었다.

워터마크 삽입 과정은 다음과 같은 순서로 진행된다. 먼저 삽입할 부가정보를 이진수 형태로 나타내고 오류정정부호화를 적용한 뒤 추출 시 동기화에 필요한 일정 길이의 헤더를 붙여 최종 삽입될 이진 시퀀스를 생성한다. 본 논문의 실험에서는 오류정정부호화 방식으로 BCH(31,6)코드를 사용하였으며 필요에 따라 다양한 다른 방식의 오류정정부호를 사용할 수 있다. 또한 이 과정에서 고정된 의사 랜덤 시퀀스가 헤더로 이용되며 정보 추출 과정에서도 동일한 의사 랜덤 시퀀스를 알고 있다고 가정한다.

이와 동시에 원본 오디오 신호를 일정한 길이의 프레임으로 분할 후 각 프레임을 3개의 서브프레임으로 분할한다. 프레임 및 서브프레임 분할 시에는 사다리꼴 또는 상승 코사인(Raised cosine) 형태의 윈도우를 이용하여 프레임 또는 서브프레임 사이에 부드럽게 중첩이 일어나도록 한다. 이후 각 서브프레임에 대해 푸리에 변환을 한 뒤 푸리에 변환된 각 서브프레임 중 정보를 삽입할 주파수 대역을 서브밴드로 분할한다. 이 때 귀에 민감한 4kHz 주변을 피해 보다 높은 주파수 대역을 이용하는 것이 바람직하며, 본 논문의 실험에서는 15kHz

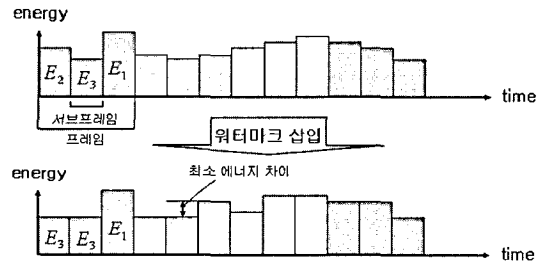


그림 4 신호 변조 방식의 예

내외의 주파수 대역을 사용하였다. 이후 각 서브밴드로 에너지 변조방식을 이용하여 위에서 생성한 부가 정보를 담고 있는 이진 시퀀스를 삽입하게 되며, 그 방식의 예를 그림 4에 나타내었다.

본 논문에서는 에너지 변조를 위해 Lie 등의 방법[7]을 변형하여 이용하고 있다. 먼저 푸리에 변환된 각 서브프레임의 각 서브밴드에 대하여 각 서브프레임 해당 서브밴드의 에너지를 계산하여 에너지 크기가 큰 순서대로 E_1, E_2, E_3 로 나타내기로 한다. 이 때 에너지가 E_2 인 서브프레임의 에너지를 E_1 또는 E_3 로 변화시킴에 따라 '0' 또는 '1'의 정보를 삽입하게 된다. 예를 들어 그림 4는 하나의 서브밴드 성분의 각 서브프레임별 에너지를 나타내는데, 이 그림에서 워터마크 삽입 전 신호의 첫 번째 프레임의 첫 번째, 두 번째, 세 번째 서브프레임의 에너지를 크기 관계에 따라 각각 E_2, E_1, E_3 으로 표기할 수 있다. 여기서 첫 번째 서브프레임의 에너지를 E_1 로 변조함으로써 아래쪽 그림과 같이 첫 번째 프레임에 정보 '0'을 삽입할 수 있게 된다. 이와 같이 워터마크 정보를 삽입하는 과정에서 E_1 과 E_3 의 차이가 특정한 값 d 보다 작다면 E_1 의 크기를 키우거나 E_3 의 크기를 줄여 E_1 과 E_3 의 차이가 d 가 되도록 에너지를 표준화한다. 이는 서브프레임간의 에너지 차가 너무 적어 워터마크가 제대로 삽입되지 않는 경우를 방지하기 위함이다. 이 과

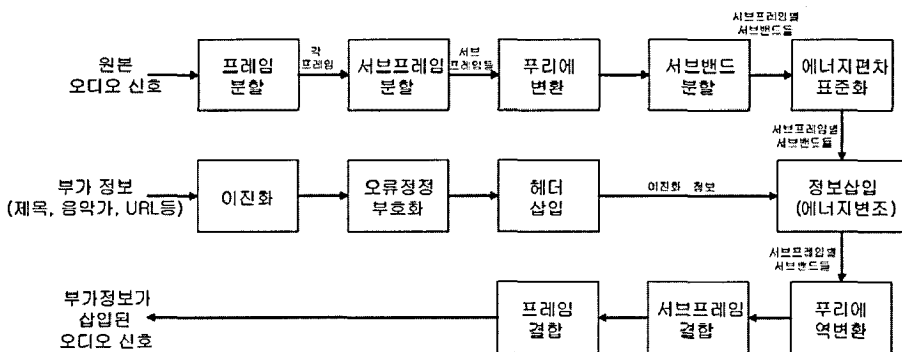


그림 3 워터마크 삽입 과정

정의 예를 그림 4의 두 번째 프레임을 통해 나타내었다. 또한 최소 에너지 차이 d 의 값을 조절하여 삽입되는 워터마크의 강도와 음향 품질 사이의 타협이 가능하므로 필요에 따라 음향 품질을 약간 희생하여 높은 강도로 워터마크를 삽입하는 등의 응용이 가능하다. 이는 위상 변조 방식에 기반하여 180도의 위상차(BPSK)이상의 강도로 워터마크 삽입이 불가능한 Matsuoka 등의 방식과 비교하여 유리한 부분이다.

위의 과정을 각 프레임별 모든 서브밴드에 대해 반복 하면서 부가정보를 삽입하며, 최종적으로 각 에너지가 변조된 서브프레임들에 대해 푸리에 역변환을 적용하고 분할된 서브프레임을 결합하여 부가정보가 삽입된 오디오 신호를 생성한다.

2.3 워터마크 동기화 및 추출 과정

워터마크 동기화 및 추출 세부 과정은 그림 5와 같다. 먼저 프레임 및 서브프레임으로 녹음 신호를 분할하고 각 서브프레임에 대해 푸리에 변환을 한 뒤 푸리에 변환된 각 서브프레임 중 워터마크가 삽입되어 있는 주파수 대역을 서브밴드로 분할한다. 이 때 초반 몇 개 프레임들의 서브프레임 에너지 분포 상태가 그림 6(a)의 좌측과 같다면 높은 점수를, 그림 6(a)의 우측과 같다면 낮은 점수를 부여한다. 이러한 에너지 분포 점수를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$S = \sum_{f=1}^{N_s} \sum_{b=1}^{N_b} |E_1(f,b) + E_3(f,b) - 2E_2(f,b)|.$$

여기서 S , f , b , N_s , N_b , $E_1(f,b)$, $E_2(f,b)$, $E_3(f,b)$ 는 각각 에너지 분포 점수, 프레임 번호, 서브밴드 번호, 점수화에 사용되는 초반 프레임 개수, 총 서브밴드 수, f 번 프레임 b 번 서브밴드의 서브프레임들의 에너지 중 가장 큰 값, 2번째 큰 값, 가장 작은 값을 뜻한다. 이러한 에너지 분포 점수 S 가 높을수록 녹음 신호의 시작 부분과

과 한 프레임의 시작부분의 동기화가 잘 되었다고 할 수 있다. 따라서 녹음 신호의 초반을 일정 간격으로 건너뛰면서 건너뛰는 길이가 1프레임 길이가 될 때까지 위의 점수와 과정을 반복한다. 이 과정이 완료된 후 가장 높은 점수가 부여된 초반 건너뛰길이를 찾아 그 길이만큼 건너뛰으로써 정확한 프레임의 시작 지점을 찾을 수 있고, 이 과정이 1차 신호 동기화된 프레임 동기화이다.

프레임 동기화 된 신호는 서브프레임 분할, 푸리에 변환 및 서브밴드 분할 과정을 거치게 되며, 이후 각 서브프레임 간 에너지 비교를 통해 '0' 또는 '1'의 2진 정보를 추출하게 된다. 즉, 메시지 삽입 과정과 동일하게 푸리에 변환된 각 서브프레임의 각 서브밴드에 대하여 각 서브프레임 해당 서브밴드의 에너지를 계산하여 에너지 크기가 큰 순서대로 E_1, E_2, E_3 로 나타내는 경우 E_2 가 E_1 에 가까운 경우는 '0', E_2 가 E_3 에 가까운 경우는 '1'을 추출하게 된다. 이렇게 추출된 2진 정보는 헤더 정보 및 오류정정부호화된 메시지가 연결되어 있는 이진 시퀀스

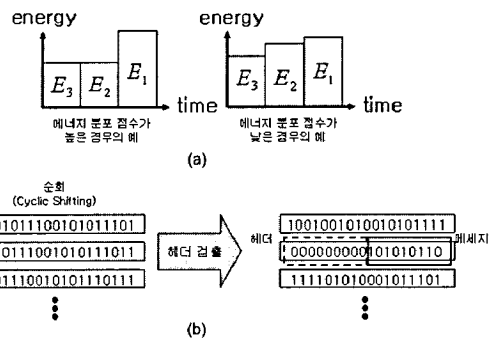


그림 6 신호 동기화 기법 개념도 (a) 에너지 분포 점수화 (b) 메시지 동기화

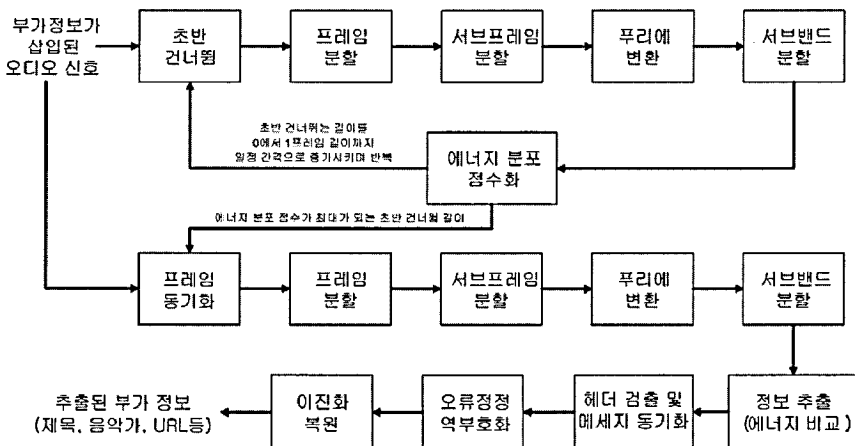


그림 5 워터마크 동기화 및 추출 과정

가 순회(Cyclic shift)된 형태를 하고 있으며, 그림 6(b)와 같이 신호를 순회해가면서 신호의 초반부가 헤더 시퀀스와 가장 가까운 경우를 찾음으로써 메시지의 시작 부분을 찾을 수 있다. 이 과정이 2차 신호 동기화인 메시지 동기화이다. 메시지 동기화된 신호의 헤더 이후 부분을 오류정정 역 부호화를 하고 이진화를 복원함으로써 최종적으로 부가 정보를 얻을 수 있게 된다.

위의 과정에서 이용된 1차 프레임 동기화 및 2차 메시지 동기화를 이용한 신호 동기화 방식은 Matsuoka 등의 방법과 달리 별도의 워터마크 삽입/추출 알고리즘을 필요로 하지 않기 때문에 복잡도가 낮다. 이는 실제로 모바일 장치 등 계산 능력이 떨어지는 장치에서 워터마크 추출 알고리즘을 구현할 때 큰 장점이 될 수 있는 부분이다.

2.4 스테레오 신호에 대한 처리 방식

일반적인 음악은 대부분 스테레오 신호로 되어 있다. 이 때 좌, 우의 신호에 각각 2.2절의 방식으로 워터마크를 삽입할 경우 같은 시각의 좌, 우 서브프레임간의 대소 관계가 다를 경우 상호 간섭으로 인해 제대로 워터마크를 추출하지 못할 수 있다. 이러한 경우를 방지하기 위해 좌, 우 중 E_1 과 E_3 의 차이가 큰 쪽을 선택하여 워터마크를 삽입하고 정보가 삽입되지 않은 반대쪽 신호는 삽입된 쪽과 동일한 에너지 크기 관계를 가지도록 강제로 크기를 조절하였다. 이렇게 E_1 과 E_3 의 차이가 큰 쪽을 기준으로 동일하여 스테레오 신호를 변조하는 방식은 E_1 과 E_3 의 차이가 작은 쪽을 기준으로 하는 방식보다 원본 신호와의 차이를 줄일 수 있다.

예를 들어 위의 그림 7의 첫 번째 프레임에서는 좌-우측 신호의 서브프레임간 에너지의 대소 관계가 동일하다. 이러한 경우에는 좌-우측에 각각 2.2절의 방식으로 같은 정보를 삽입해도 문제가 없다. 반면 그림 7의 두 번째 프레임에서는 좌-우측 신호의 서브프레임간 에

너지의 대소 관계가 다르다. 이러한 경우에는 E_1 과 E_3 의 차이가 큰 우측 신호를 택하여 정보를 삽입하며, 좌측 신호 역시 그림과 같이 우측 신호와 동일한 에너지 형태를 갖도록 변조시킨다.

3. 실험 결과

실험은 PC에 연결된 스피커 시스템과 휴대폰을 이용하여 진행하였다. 사용된 스피커는 Egosys nEar 05와 Altec Lansing XT-1이다. nEar 05는 음악 모니터링용으로 이용되는 우수한 특성을 가지는 스피커이며, XT-1은 휴대성에 중점을 둔 비교적 음질이 떨어지는 스피커이다. 녹음에 사용된 휴대폰으로는 삼성 SPH- M8100 모델을 이용하였다. 실험은 일반적인 사무실 잡음 환경에서 진행하였으며, 좌우 스피커의 간격은 50cm, 스피커와 휴대폰간의 거리는 0~5m로 하였다.

워터마크 삽입에 이용된 원본 오디오 신호로는 44.1kHz 스테레오 오케스트라 음악을 이용하였다. 워터마크는 원본 신호의 14.6-18.0kHz 대역을 62개의 서브밴드로 분할하여 삽입하였으며, 1서브프레임의 길이는 8192샘플로 하였고, 오류정정부호 및 헤더 신호를 모두 고려한 최종적인 부가 정보 전송률은 84.8bps이다. 또한 이와 같이 삽입된 워터마크는 스피커를 통해 청취하였을 때 거의 인지할 수 없었다.

실험은 원본 신호에 8byte의 워터마크 정보를 제안된 방식을 이용하여 반복적으로 삽입한 후 이를 스피커로 재생하고 약 3초간 휴대폰을 이용해 44.1kHz 모노 신호로 녹음하여 이로부터 워터마크가 완벽히 검출되는지 여부를 살펴보는 과정을 통해 진행하였다. 그림 8에 이러한 실험 결과를 나타내었다. 이 결과에는 스피커로부터 격자형으로 녹음 위치를 설정하여 각 위치별로 워터마크 추출에 성공했는지 여부가 O, X로 표시되어 있다. 그림 8(a)의 결과와 같이 고급 스피커를 이용한 경우

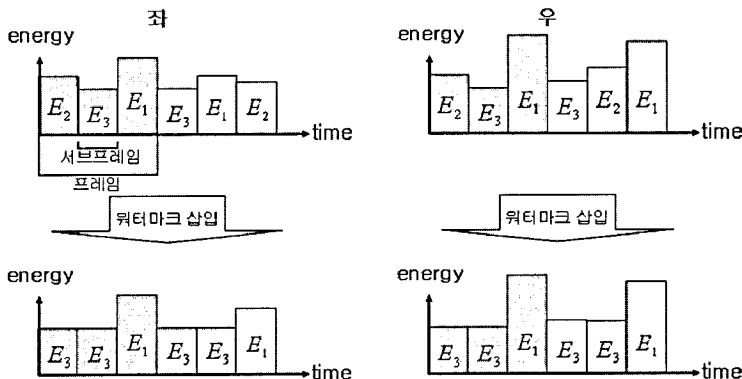
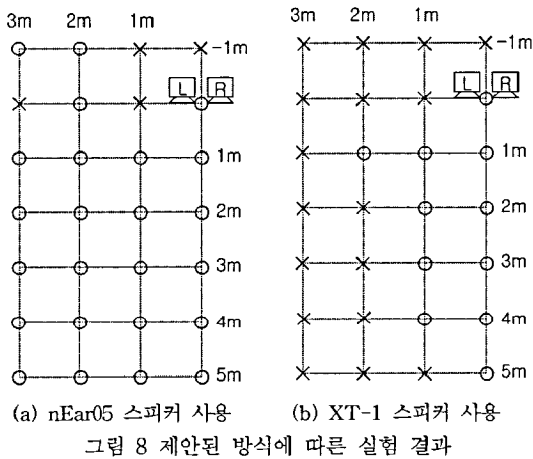


그림 7 스테레오 신호 처리 방식의 예



결과 기존의 위상 변조 방식으로는 동일 조건 하에서 스피커의 종류에 관계없이 정면 2m 이상의 신호 전송이 불가능하였다. 본 논문과 실험 환경이 달랐던 Matsuoka 등의 논문에서는 정면으로부터 4m(BPSK) 또는 3m(QPSK) 거리까지 위상 변조 방식의 신호 전송이 가능한 것으로 보고되었다[5,6].

종합적으로, 제안된 방식은 스피커에 관계없이 5m의 거리에서 성공적으로 동작하였으며, 고급 스피커를 이용하는 경우 정면 10m까지도 동작이 가능하였다. 이는 본 논문의 실험에서 정면 2m(BPSK)까지, 기존 논문에서는 정면으로부터 4m(BPSK) 또는 3m(QPSK) 거리까지 동작하는 것으로 보고된 Matsuoka 등의 방법[5,6]과 비교하여 우수한 결과이다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 사용자 편의를 위한 부가 정보 전송이라는 목적에 적합한 새로운 오디오 워터마킹 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 오디오 워터마킹 알고리즘은 Lie의 에너지 변조 방식[7]을 기반으로 하여 공기 중 전송 및 모바일 장치의 낮은 연산 능력에 적합하도록 스테레오 신호에 대한 처리 및 효율적인 동기화 기법이 추가된 형태이며, 기존의 위상 변조 기반 방식과 비교하여 워터마크의 강인성을 보다 높일 수 있다는 장점이 있다. 제안된 알고리즘은 스피커 시스템과 휴대폰 단말기를 이용한 실험을 통해 그 성능을 평가하였으며, 실험 결과 5m의 거리에서 성공적으로 부가 정보를 전송이 가능함을 확인하였다. 이는 기존의 위상 변조 기반 방식보다 높은 성능이다.

본 연구에서 제안한 부가 정보 전송 방식은 스피커 및 모바일 장치를 이용한 시스템에 바로 적용할 수 있는 상용화 가능성이 높은 알고리즘이다. 또한 정보 삽입 주파수 대역 및 정보 전송률 등을 변화시켜 전화 음성 에 부가 정보를 함께 전송하는 시스템 등 다양한 형태의 응용이 가능할 것으로 예상된다.

참고 문헌

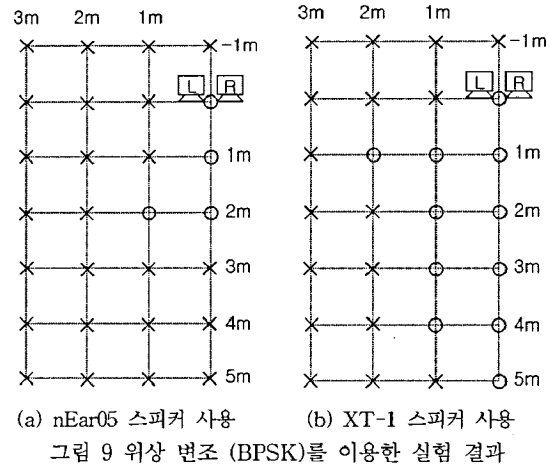
[1] I. J. Cox, M. L. Miller, and J. A. Bloom, *Digital Watermarking*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 2001.

[2] J. J. Eggers, R. Bauml, R. Tzschoppe, and B. Girod, "Scalar Costa Scheme for information embedding," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 51, no.4, pp.1003-1019, 2003.

[3] D. Kirovski and H. S. Malvar, "Spread spectrum watermarking of audio signals," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.51, no.4, pp.1020-1033, Apr. 2003.

스피커의 완전 측면이나 후면을 제외하고는 스피커 정면과의 각도에 관계없이 성공적으로 워터마크를 검출할 수 있었다. 특히 고급 스피커를 이용하는 경우 그림 8(a)의 결과 이외에 정면 10m의 거리까지 제안한 알고리즘이 동작함을 확인하였다. 음질이 떨어지는 XT-1 스피커를 이용한 경우 그림 8(b)와 같이 스피커 정면에서는 충분한 성능을 보였고, 스피커의 정면으로부터의 각도가 커질수록 검출 성능이 저하되어 약 60도 측면에서는 약 2m 거리에서 검출이 가능하였다.

기존 방법과의 성능 비교를 위해 모든 조건을 위와 동일하게 맞춘 후 Matsuoka 등의 방법[5,6]에 따라 각 서브밴드의 위상을 변조하는 방식으로 같은 실험을 반복하여 그림 9에 나타내었다. 이 때 위상 변조 방식은 BPSK를 이용하였다. 또한 Matsuoka 등의 방법은 동기화를 위해 별도의 대역 확산 기법 워터마킹의 구현을 필요로 하는데, 본 실험에서는 오디오 신호의 시작 시간을 수동으로 동기화하는 방법으로 대신하였다. 이 실험



- [4] D. Gruhl, A. Lu and W. Bender: "Echo Hiding," *Information Hiding*, pp.295-315, 1996.
- [5] H. Matsuoka, Y. Nakashima, and T. Yoshimura, "Acoustic Communication System Using Mobile Terminal Microphones," vol.8, no.2, pp.4-12, NTT DoCoMo Technical Journal, 2006.
- [6] H. Matsuoka, Y. Nakashima, and T. Yoshimura, "Acoustic OFDM System and Performance Analysis," vol.E91-A, no.7, pp.1652-1658, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, 2008.
- [7] W. Lie and L. Chang, "Robust and High-Quality Time-Domain Audio Watermarking Based on Low-Frequency Amplitude Modification," *IEEE Trans. Multimedia*, vol.8, no.1, pp.46-59, 2006.



최 준 환

2001년 서울대학교 전기공학부 학사. 2003년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사. 2009년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사. 2009년~2010년 서울대학교 BK21 박사후연수연구원. 2010년~현재 워싱턴대학(시애틀) 박사후연구원. 관심분야는

신호처리, 패턴인식, 생체인식 등



송 원 석

2006년 서울대학교 전기공학부 학사. 2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사. 2008년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정 재학중. 관심분야는 신호처리, 패턴인식, 생체인식 등



최 혁

1996년 서울대학교 전자공학과 학사. 1998년 서울대학교 전자공학과 석사. 2002년 서울대학교 전자공학과 박사. 2003년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수. 관심분야는 디지털 워터마킹, 정보보호, 신호처리 등



김 태 정

1976년 서울대학교 전자공학과 학사. 1978년 KAIST 전자공학과 석사. 1986년 University of Michigan 전자공학과 박사. 1978년~1981년 ETRI 재직. 1986년~1988년 AT&T Bell Lab. 재직. 1988년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수

관심분야는 신호처리, 신호원 부호화 등