

워터마크를 이용한 방송동기화 시스템의 실시간 구현*

정양모¹, 신동환², 김종원¹, 최종욱¹

¹ 상명대학교 디지털저작권보호연구소

² (주) 마크텍 연구소

it@smu.ac.kr, dhshin@marktek.co.kr, {jwkim, juchoi}@smu.ac.kr

Real-time Implementation of Synchronizing Broadcasting System Using Watermark

Yangmo Jeong¹, Donghwan Shin², Jongweon Kim¹, and Jonguk Choi¹

¹ Copyright Protection Research Institute of Sangmyung University

² MarkTek Research Institute

요약

본 논문에서는 오디오 워터마킹 기술을 이용하여 중앙방송국과 지방방송국간의 방송전환을 용이하게 할 수 있는 시스템을 구현하였다. 방송전환을 위한 동기화 시스템에서의 궤적출은 방송사고를 일으키기 때문에, 오디오 워터마크기술을 이용할 때 신뢰성이 매우 높아야 한다. 본 논문에서는 방송동기화 시스템에 효율적으로 적용할 수 있는 오디오 워터마킹 알고리즘을 개발하고, 이를 실시간으로 적용하여 방송전환에 사용할 수 있는 시스템을 구현하였다. 개발된 오디오 워터마킹 알고리즘에 의해서 워터마크가 삽입된 방송신호의 SNR은 66.1dB로서 워터마크 삽입전의 방송신호와의 구분이 어려웠다. 강인성 테스트에서는 96kbps와 128kbps의 MP3 압축을 하였을 때에도 100%의 검출율을 보였으며, -50dB 이하의 잡음첨가에 대해서도 100% 검출율을 보였다. 구현된 시스템은 240시간의 실제 방송상황에서 워터마크가 삽입된 방송신호에 대한 검출율이 100%이고, 오검출율이 0%로 방송시스템으로서의 신뢰성을 확보하였다.

Keyword : Audio Watermarking, 방송 동기화, 방송 시스템 자동화, 디지털 필터.

1. 서론

방송사의 구성은 크게 한 방송사 내에 1개의 중앙방송국과 다수의 지방방송국으로 나뉜다. 이들 방송국들은 각자의 방송역할이 있는데 이중에서 지방 방송국의 경우 중앙방송 외에 자체로 제작한 지방방송을 일정 시간대에 삽입하여 방송하게 된다. 이러한 중앙방송 중에 일정 시간대의 지방방송 삽입은 한 지방방송국에 국한되지 않고 다수의 지방방송국에서 동시에 일어난다. 이때 중앙방송을 지방방송으로 전환하는 과정을 방송동기화라고 부르기 한다. 기존에 방송동기화를 자동화하기 위해 여러 시스템이 제시되었다. 그림 1은 방송 동기화 시스템이 적용된 사례를 나타낸다.

방송이 전환되는 시점에 특정 오디오를 삽입하여 이 특정 오디오를 음성인식기술을 통해 방송 전환을 하려는 시도는 음성 인식 기술이 100%의 인식률을 갖지 못하기 때문에 오검지 확률이 높다. 방송 도중 방송전환 오디오

와 같은 내용이 있을 경우 이것을 특정 오디오로 인식하여 전환신호로 오류를 낼 수 있다.

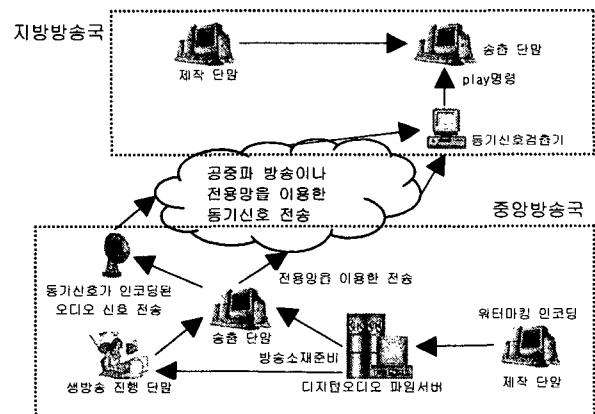


그림 1. 방송동기화 시스템구성

* 본 논문은 과학기술부 국제공동연구 지원에 의해서 수행되었음.

전용망을 이용하여 동기화 신호를 전송하는 방법에서는 전용망의 전송상태가 크게 좌우되는데, 만일 지연이 생길 경우 바로 방송사고로 이어지는 결과를 초래 할 수 있다. 다시 말하여 기존의 시스템에서는 지연과 오검지가 시스템 동기화의 장애가 된다. 실제로 아직까지 전자의 시스템을 이용하는 방송국의 경우 몇 초간의 지연을 느끼게 되는 경우가 발생하였다.

본 논문에서는 오디오 워터마킹 기술을 방송장비의 동기화 시스템에 적용한다. 오디오 워터마킹 기술을 방송에 이용하려는 시도는 여러 차례 있었다. 예를 들어 Musicode 라는 기술로 방송모니터링을 위하여 음악에 워터마크를 삽입하는 방법과 VIVA라는 프로젝트[1][2]로 비디오 영상에 워터마크를 삽입하여 모니터링을 하고자 하는 방법이 있었다.

본 논문에서는 오디오 워터마킹 기술을 방송동기화 시스템의 자동화에 적용하려는 것으로 방송시스템 특성상 동기신호를 잘못 검지하는 오류가 없어야 한다. 즉, false positive rate가 0% 되어야 한다.

본 논문에서 제안된 알고리즘은 디지털 필터링을 이용하여 원본 오디오와 모든 면에서 동일하지만 원본에서는 볼 수 없는 스펙트럼 특징을 이용하여 정보를 삽입, 추출하는 기술을 이용하였다[3]. 구현된 시스템상 5비트의 정보를 0.5초 이내에 검출할 수 있는 알고리즘을 이용하여 실시간으로 워터마크를 찾아내고 이를 이용하여 시스템 동기신호를 생성한다.

본 논문의 구성은 오디오 워터마킹 알고리즘을 2장에서 소개하고 시스템으로 구현한 방법을 3장에서 소개한다. 제안된 알고리즘의 강인성 테스트를 위해 잡음과 압축에 의한 워터마크 검지율을 비교한 것을 4장에서 소개한다.

2. 워터마킹 알고리즘

본 장에서 사용된 오디오 워터마킹 알고리즘은 디지털 필터링을 이용한 방법으로써 원본 오디오가 갖지 않는 스펙트럼 특성을 이용하여 워터마크를 삽입하고 추출하는 기술이다.

2.1 워터마크 삽입

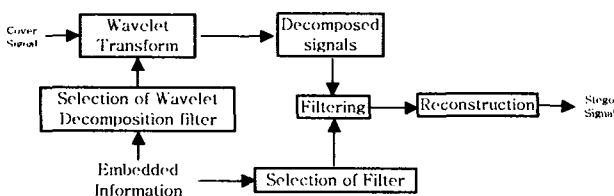


그림 2. 워터마크 삽입 구조도

오디오 신호를 정보를 삽입하기 위한 모듈은 위의 그림 2와 같으며 Cover Signal은 워터마크가 삽입되지 않은 원본 오디오 신호를 의미하며 Stego Signal은 워터마크가 삽입된 신호를 의미한다.

워터마크 삽입과정을 잠시 살펴보면 첫 번째 단계에 입

력된 Cover Signal을 웨이블릿 변환을 통해 필터링할 대상 대역 주파수와 필터링되지 않는 대역 주파수로 분해한다. 필터링 단계에서 Cover Signal을 웨이블릿으로 분해하여 대상 주파수만을 필터링하는 것은 디지털 필터링 과정에서 주변 주파수 성분에 불필요한 변화를 주지 않기 위함이다. 이상적인 디지털 필터를 설계하더라도 필터링 과정에서 주변 신호에 영향을 미치는 것으로 막을 수 없다. 더욱이 고주파 성분은 상대적으로 적은 에너지를 지니고 있기 때문에 이 부분을 왜곡하면 오디오 전문가들은 음색의 변화를 느낄 수 있게 된다. 즉 위의 왜곡현상을 사전에 차단하기 위해 시간-주파수 영역에서 신호를 분리하는 웨이블릿[5]을 이용한다.

두 번째 단계로 대상 주파수 신호를 미리 설계된 필터를 이용하여 필터링한다. 여기서 필터링을 위해 설계된 필터가 IIR(Infinite Impulse Response)필터이기 때문에 비선형 위상 변화가 발생하고 이 비선형 위상 변화는 음질의 변화를 가져올 수 있다. 이런 위상 변화 문제를 해결하기 위해 필터링을 거치는 동안 위상 변화가 발생하지 않도록 Zero-phase filtering[4,6]을 이용하였다. Fredrik[6]은 IIR필터링을 전방향, 후방향으로 실시함으로써 위상이 변하지 않는 방식과 필터링의 초기값을 계산하는 방법을 이용하였다.

마지막으로 웨이블릿으로 분리된 각각의 신호들과 필터링된 신호를 다시 합성하여 원래의 오디오 신호로 복원하면 정보가 삽입된 Stego Signal이 만들어지게 된다.

본문에서 이용되는 디지털 필터는 사전에 정보량과 저작물의 특성에 따라 디지털 필터를 설계하여 이용한다. 구현하고자 하는 시스템은 방송시스템에 사용된다는 점과 워터마크가 삽입되는 신호가 주로 음성이라는 점을 고려하여 표 1과 같은 특징을 갖는 대역저지 디지털 필터를 이용하였다.

표 1. 디지털필터(kHz)

No.	통과대역 (Passband)	차단대역 (Stopband)	통과 대역변화 (dB)	차단대역완화율 (dB)
1	2.85~3.15	2.95~3.05	0.1	74
2	3.30~3.60	3.40~3.50	0.1	75
3	4.00~4.30	4.10~4.20	0.1	77
4	4.60~4.90	4.70~4.80	0.1	78
5	5.30~5.60	5.40~5.50	0.1	80

본 논문에서는 시스템특성을 고려하여 강인성을 중시하고 삽입대상이 오디오임을 고려해 워터마크 삽입영역을 3~6kHz대역으로 하였다. 필터링은 식(1)에 의해서 원하는 신호만을 추출하였다.

$$y_k = \sum_{m=0}^M a_m x_{k-m} + \sum_{n=0}^N a_n y_{k-n} \quad (1)$$

식(1)의 주파수 특성은 식(2)를 이용하여 분석할 수 있다[4].

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{m=0}^M a_m z^{-m}}{1 - \sum_{n=0}^N b_n z^{-n}} \quad (2)$$

$$|H(e^{j\omega})| = \sqrt{\{H_R(e^{j\omega})\}^2 + \{H_I(e^{j\omega})\}^2}$$

2.2 워터마크 추출

워터마크 추출과정은 오디오의 진폭스펙트럼을 분석하여 찾아낼 수 있다. 워터마크 정보가 삽입된 Stego signal의 샘플링 주파수, 삽입정보의 대역폭 등을 고려하여 1024의 샘플을 주파수 분석길이로 하였다.

워터마크 신호를 제외한 나머지 신호의 주파수 별 신호 발생 빈도가 랜덤하다고 가정하여 반복 후에 더하면 워터마크 신호는 강해지고 그 외의 신호는 약해지는 성질을 이용한다. 반복횟수 N을 85회로 하였다. 최대값을 제한 하기위해 수정된 로그스케일링을 이용하여 워터마크 정보를 강조한다. 이를 바탕으로 피크위치를 식별하고 식별된 위치정보를 이용하여 워터마크 삽입 유무를 판단한다.

3. 시스템 구현

시스템의 안정성 및 실시간 처리를 위하여 시스템 구현을 위해서 전용 하드웨어 설계를 구현하였다. 방송동기화 시스템은 특성상 빠른 시간 안에 동기신호를 감지해서 제어신호로 전환되어야 한다. 이 때 적어도 0.5 초 내에 동기신호 검출이 가능해야 하는 조건이 있다. 이를 위해 PC 기반의 시스템 구현도 가능하나 안정성을 보장 받기 어려워 연산속도가 빠르고 안정된 DSP 칩을 사용하여 시스템을 구현하였다. 본 연구에서 사용된 DSP 칩은 TI(Texas Instrument)의 TMS320VC5410 - 100MIPS 를 사용하였다. 그림 3 은 구현된 시스템 하드웨어 블록도를 나타낸다.

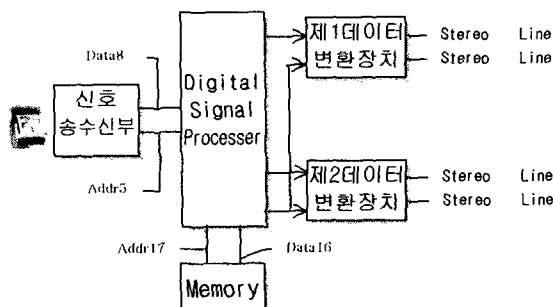


그림 3. 하드웨어 블록도

하드웨어 블록도에서 제1 데이터 변환장치와 제2 데이터 변환장치는 D/A, A/D변환기를 말하는 것으로

입력된 아날로그 오디오 신호를 44.1kHz 스테레오 16비트 ADPCM 형태의 디지털신호로 변환과 동시에 디지털 스테레오 오디오 신호를 아날로그 스테레오 오디오 신호로 변환하는 역할을 한다.

본 논문에서는 입력오디오의 loop back 신호를 생성하여 사용하였다. 이는 입력된 오디오 신호를 디지털 신호로 변환하여 이를 다시 아날로그 신호로 출력을 내보내는 것이다. 이를 통해 입력신호의 상태를 모니터링 할 수 있는 것이다. 메모리부는 128Kwords를 저장 할 수 있는 플래쉬 메모리로 이뤄졌으며 2개의 방송신호를 동시에 처리할 수 있고 한 방송 채널당 최대 40MIPS까지 연산량을 처리한다.

디지털 신호 처리기로 입력된 디지털 방송 오디오 신호를 워터마크 감지 알고리즘을 이용하여 실시간으로 검색한다. 검색 중에 동기신호로써 삽입된 워터마크 정보를 추출하게 되면 이 결과를 USB 포트를 이용해 모니터링 PC 에게 정보를 알려준다. 이때 모니터링 PC 에 전달되는 정보는 동기신호가 검출된 시각과 동기신호가 검출된 누적 횟수를 log 파일로 저장하게 된다. 실제 시스템의 구성도는 그림 4 와 같다.

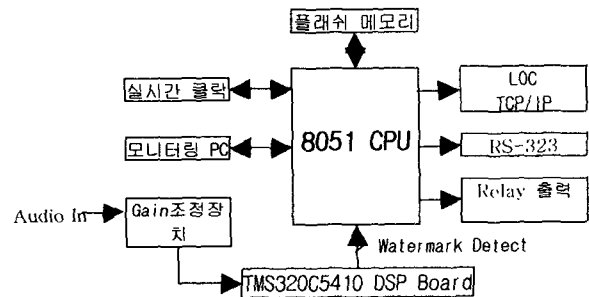


그림 4. 시스템 구성도

4. 실험결과 및 분석

본 논문에서는 구현된 알고리즘의 강인성을 시험하기 위해서 2가지 방법으로, 실제 방송상태와 유사한 제약조건을 만들기 위하여 잡음과 압축레벨을 변화시키면서 실험을 하였다.

본 실험에 사용된 워터마크 오디오의 경우 0.7초 길이고 오디오 신호 뒤에는 0.5초 이상의 묵음 구간이 이어진다. 이 묵음은 동기화 신호임을 알려주기 위한 신호이고 방송전환에 따른 잡음을 제거하기 위한 부분이다.

4.1 음질 테스트

정량적인 방법으로 음질을 평가할 수 있는 방법 가운데서 가장 널리 이용되고 있는 계산법은 신호 대 잡음 비율(SNR)을 구하는 방법이 있다. SNR이란, 신호는 단독으로 존재하지 않고 대개 잡음과 섞여 있는데, 그 비율을 나타내는 척도이다.

$$SNR = 20 \left(\log_{10} \frac{Signal}{Noise} \right) dB \quad (3)$$

오디오의 경우에는 SNR에 많은 의미를 부여하지는 않으나, 일반적으로 60dB 이상이 되면 거의 잡음을 감지 할 수 없는 것으로 알려져 있다.

제한된 알고리즘으로 워터마크가 삽입된 오디오 신호의 경우 SNR을 측정된 결과 66.090dB로 워터마크삽입으로 인한 오디오 신호의 열화를 거의 느낄 수 없었다.

4.2 강인성 테스트

구현된 시스템에서 워터마크의 강인성 테스트를 위한 잡음 첨가 실험에서는 백색잡음을 -70dB, -60dB, -50dB을 첨가 하였다. 압축률에 따른 검사를 위해서 MP3 압축으로 압축률은 128kbps, 96kbps으로 압축 후 실험하였다. 시스템 구성상 방송된 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하여 워터마크를 검출하기 때문에 기본적으로 D/A, A/D변환에 의한 공격이 포함되어 있다.

표2는 이러한 조건에 대한 강인성 테스트결과이다. 실험은 워터마크가 삽입된 오디오를 100번 재생하여 워터마크를 검출한 결과를 표시하였다.

표 2 압축과 잡음 첨가 후 워터마크 검출결과

잡음강도	압축 전	128kbps	96kbps
-45dB	71	72	67
-50dB	97	99	96
-60dB	100	100	100
-70dB	100	100	100

실험결과를 살펴보면 -60dB 잡음 첨가까지는 미 검지하는 경우가 발생하지 않았다. 그러나 잡음의 강도를 높여서 -50dB 이상의 강도로 첨가했을 때 검지 못하는 경우가 증가한다. 128kbps의 경우는 압축전의 경우와 차이가 거의 없으나 96kbps의 경우는 검지율이 떨어지는 결과를 볼 수 있다.

마지막으로 구현된 시스템의 신뢰성 검사를 위해서 방송사의 협조를 얻어 실제 방송되는 라디오 신호를 갖고 시험해본 결과 240시간 동안 false positive 예러가 발생하지 않았다.

5. 결론

본 논문에서는 워터마크를 이용하여 방송시스템의 방송전환시점을 자동으로 알려주는 방송동기화 시스템을 구현하였다. 방송장비 특성상 실시간으로 방송 신호를 처리하여 0.5초 이내에 워터마크를 검출하여 방송전환시점을 알려주도록 설계하였다. 신뢰성 검사 또한 오류검지가 없음을 전(前) 단락을 통해서 확인하였다.

본 논문에서 구현된 시스템의 경우 압축 전과 압축 후의 모두 워터마크가 100이 검출되므로 압축과 노이즈의 공격에도 강인함을 알 수 있었다. 또한 워터마크가 삽입된 오디오의 음질 테스트 결과 원음의

정보와 거의 차이가 없는 것으로 분석되었다. 아래 그림 5는 실제 시스템을 구현한 사진이다.

본 논문에서 사용한 워터마킹 기술을 발전시켜 방송광고 모니터링 및 저작권료 지불을 위한 모니터링 시스템에 응용이 가능하다.



그림 5 실제 시스템 구현 사진

[참고문헌]

- [1] T. Kalker, G. Depovere, J. Haitsma, M.J. Maes, "Video watermarking system for broadcast monitoring" Proceedings of the Society and Watermarking of Multimedia Contents, 103-112, 19990125.
- [2] De Strycker, Pascale Termont, et al, "The VIVA project: Digital watermarking for broadcast monitoring", Proceedings of the 1999 International Conference on Image Processing, volume 2, 202-205, 19990124.
- [3] 신승원, 김종원, 최종욱, "디지털 오디오의 인터넷 방송 서비스를 위한 저작물 식별코드 은닉 기술", 한국방송공학회 학술대회, 2001.11.
- [4] Oppenheim, A.V., and R.W. Schaffer. Discrete-Time Signal Processing. Prentice-Hall, 1989, pp. 311-312
- [5] Yang Yan, Zhang Dong, "Enhancement of Angiograms via M-Band Wavelet Transform", Proceedings of SPIE Biomedical Photonics and Optoelectronic Imaging, 165-169, 2000.
- [6] Fredrik Gustafsson, "Determining the initial States in Forward-Backward Filtering". Transactions on Signal Processing, V.44 N.4, 1996. 4. 1.
- [7] M. Adinolfi et al., Nucl. Instrum. Methods A 329 (1993) 117.
- [8] Peter Weilhammer, private communication, The RD20 Collaboration, preprint CERN/DRDC 9439 (Geneva, 1994).
- [9] 신동환, 안종근, 신영일, 김종원, 최종욱, "오디오 워터마크를 이용한 방송 동기화 시스템 구현", 한국방송공학회 학술대회, 2002