



Implementation of Binaural Decoding in Spatial Cue based Multi-Channel Audio Coding

Kwangki Kim*

Department of Digital Contents, Korea Nazarene University

ABSTRACT

This paper describes the binaural decoding in spatial cue based multi-channel audio coding to provide users with a realistic audio sound in the stereo headphone environment. Generally, the binaural decoding generates the binaural stereo sound by convolving multi-channel audio signals with the head related transfer function (HRTF) in time domain. So, due to a very high complexity, the typical binaural decoding cannot be implemented in the real time and applied in the network environment. To reduce the complexity of the typical binaural decoding, we proposed a new binaural decoding scheme which is implemented in the frequency domain by utilizing the gain factors calculated from the virtual source location information (VSLI). As the proposed binaural decoding can generate the binaural stereo sound only using 10% of the overall complexity of the typical binaural decoding, its' real-time implementation is possible and it can be applied in the network system. The subjective listening test result shows that the proposed binaural decoding has the statistically same sound quality compared to that of the typical binaural decoding.

© 2014 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Multi-Channel Audio, Binaural Decoding, Spatial Cue, Virtual Source Location Information, Head Related Transfer Functions, Realistic Audio

ARTICLE INFO: Received 8 January 2014, Revised 3 February 2014, Accepted 14 February 2014.

1. 서론

*Corresponding author is with the Department of Digital Contents, Korea Nazarene University, 48 Wolbong-ro Seobuk-gu Cheonan-si Chungcheongnamdo, 331-718, KOREA. E-mail address: k2kim@kornu.ac.kr

최근 3D TV, UHDTV (Ultra High Definition TV) 나 3차원 영화와 같이 현실감 있는 3차원 입체 영상
상의 증가에 따라 이에 부합하는 3차원 실감 음향

의 중요성이 커지고 있다 [1], [2]. 3차원 실감 음향은 일반적인 오디오 서비스에서 이용되고 있는 스테레오 신호가 아닌 5.1 채널 이상의 다채널 오디오 신호에 의해서 구현되며 채널 수가 많으면 많을수록 더욱 사실감과 현장감 있는 오디오 사운드가 생성된다. 그러나 실감 음향에 필수인 다채널 오디오 신호는 데이터양이 채널 수에 비례해서 크게 증가하기 때문에 한정된 대역폭을 지니는 유무선 네트워크나 통신망을 통해서 그대로 전송되기에는 어렵다는 제약의 지니고 있다. 이러한 다채널 오디오 신호가 갖는 매우 큰 데이터양을 효율적으로 줄여 유무선 네트워크나 통신망에서도 다채널 오디오 신호에 의한 실감 오디오 서비스가 가능하도록 하기 위해 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기가 제안되었다 [3-7].

공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기는 다채널 오디오 신호를 채널 신호 하나의 데이터양을 갖는 다운믹스 신호와 다채널 오디오 신호에 의해서 생성되는 공간 상의 오디오 이미지를 공간 큐라는 파라미터로써 표현함으로써 적은 비트율과 음질의 큰 손상 없이 압축/복원할 수 있는 기술로 BCC (Binaural Cue Coding), MPEG Surround, SSLCC (Sound Source Location Coefficient Coding) 등이 대표적이다 [3-7]. 이러한 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기는 역호환성이라는 특징을 지니는데, 이는 사용자가 다채널 재생환경을 가지고 있지 않은 경우 다채널 오디오 신호를 복원하지 않고 전송된 다운믹스 신호를 기존의 스테레오 재생환경을 이용하여 즐길 수 있도록 하는 기능이다 [8]. 그러나 스테레오 재생환경을 이용하여 다운믹스 신호만을 청취하는 사용자는 다채널 오디오 신호의 본래 목적인 실감음향을 즐길 수 없기 때문에 이에 대한 해결 방법으로 제안된 것이 바이노럴 복호화이다 [9].

바이노럴 복호화는 스테레오 재생환경에서 다채

널 오디오 신호에 의한 실감 음향을 즐길 수 있도록 다채널 오디오 신호와 HRTF (head related transfer function, 머리 전달 함수)간의 선형 복적분을 통해 다채널 오디오 효과를 갖는 바이노럴 스테레오 신호를 생성하는 기술이다 [10], [11]. 일반적인 바이노럴 복호화는 다채널 오디오 신호와 HRTF 간의 시간 영역에서의 복적분을 이용하여 구현되며, 매우 많은 곱의 연산량을 필요로 하기 때문에 실시간 구현이 거의 불가능하여 네트워크나 통신 환경에서 적용되기에는 부적합하다. 더욱이 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기에 바이노럴 복호화를 적용하였을 경우, 부호화기 자체가 지니는 연산량에 바이노럴 복호화의 연산량이 추가되어 네트워크나 통신 환경을 통한 다채널 오디오 서비스가 불가능하게 된다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기를 통해 복원된 시간 영역에서의 다채널 오디오 신호가 아닌 복호화 과정에서 공간 큐를 이용하여 필수적으로 계산되는 각각의 채널이 가지는 주파수 영역에서의 이득과 주파수 영역으로 미리 변환된 HRTF를 이용하여 복적분을 수행함으로써 연산량을 최소화하는 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기에서의 바이노럴 복호화를 제안하였다.

2. SSLCC 개요

SSLCC는 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기 중 하나로 다채널 오디오 신호에 의해서 생성되는 공간 상의 오디오 이미지에 초점을 맞춰서 다채널 오디오 신호를 압축/복원하는 기술로 SSLCC의 기본 구조도는 <그림 1>에서 보는 바와 같다 [5-7]. 입력되는 다채널 오디오 신호는 SSLCC 부호화기를 통해서 하나의 다운믹스 신호와 공간 큐 파라미터로써 압축되어 전송되고, 전송된 다운믹스 신호와 공간 큐 파라미터

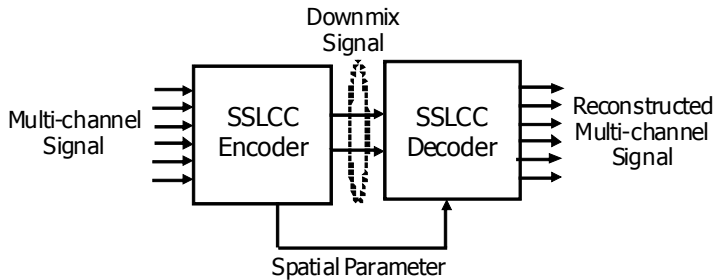


그림 1. SSLCC 기본 구조도
Figure 1. Basic structure of SSLCC

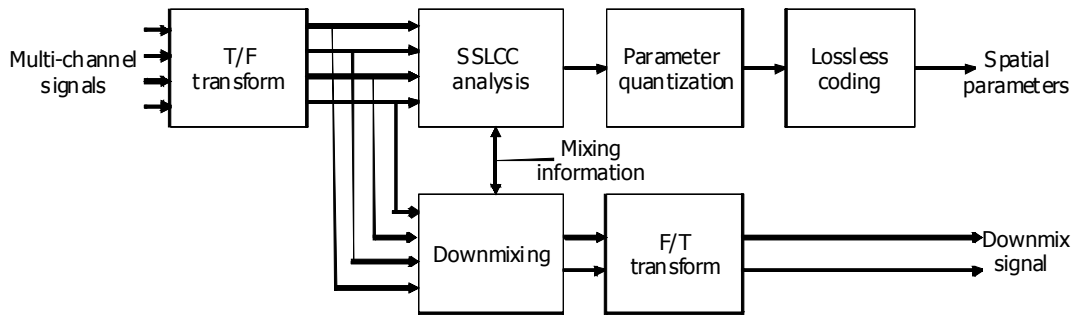


그림 2. SSLCC 부호화기 상세도
Figure 2. Detailed structure of SSLCC encoder

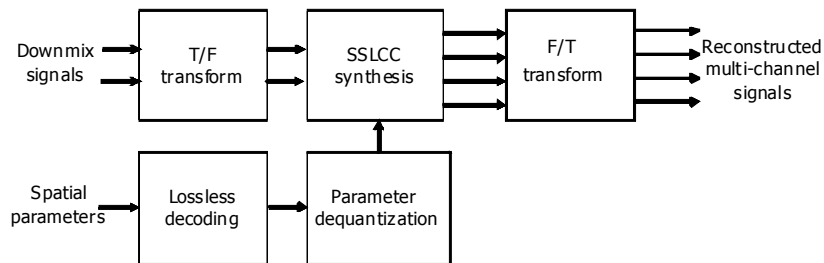


그림 3. SSLCC 복호화기 상세도
Figure 3. Detailed structure of SSLCC decoder

는 SSLCC 디코더를 통해서 다채널 오디오 신호로 복원된다.

<그림 2>와<그림 3>은 SSLCC 부호화기와 복호화기의 상세 구조도이다. <그림 2>에서 보는 바와 같이 입력되는 다채널 오디오 신호는 T/F (time to frequency) 변환을 통해 주파수 영역으로 변환된 후,

SSLCC 분석을 통해 다채널 오디오 신호에 의해 생성되며 사람이 인지하는 공간상에서의 음원의 위치를 나타내는 공간 큐인 VSLI (Virtual Source Location Information, 가상음원위치정보)를 추출한다. 여기에서 VSLI 파라미터는 전체 주파수 대역을 사람의 청각 특성에 따라 20개 또는 28개로 나눈 서브밴드를 이용

하여 각각의 서브밴드별로 하나의 VSLI 파라미터를 추출하게 된다 [4], [12]. 이와 더불어 다채널 오디오 신호는 다운믹싱 과정을 거쳐 모노 혹은 스테레오 다운믹스 신호를 생성한다. 추출된 공간 큐와 다운믹스 신호는 각각 양자화 과정과 다운믹스 부호화 과정을 거쳐서 복호화단으로 전송된다. <그림 3>의 복호화기에서는 전송된 다운믹스 신호와 공간 큐를 이용하여 SSLCC 합성과정을 수행하며, 이를 통해서 다채널 오디오 신호를 복원하게 된다. 여기에서 각 주파수 서브밴드별 VSLI 파라미터와 다운믹스 신호의 해당 주파수 대역의 다운믹스 신호를 이용하여 다채널 오디오 신호를 주파수 영역에서 복원하고 이를 다시 F/T (frequency to time) 변환을 통해 최종적으로 시간영역에서의 다채널 오디오 신호를 생성한다. SSLCC의 자세한 동작 과정은 참고 문헌 [5-7]을 참고하도록 한다.

3. 제안된 SSLCC 바이노럴 복호화

일반적인 다채널 오디오 부호화기에서의 바이노럴 복호화는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 다채널

실시간 구현이 불가능하다는 문제점을 지니고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다채널 오디오 신호가 복원되는 SSLCC 합성 과정에서 VSLI 파라미터를 이용하여 주파수 영역에서 계산되는 다채널 오디오 신호 각각의 이득 값에 주파수 영역으로 미리 변환해 놓은 HRTF 계수를 적용하는 바이노럴 복호화를 제안하였다. <그림 5>는 제안된 SSLCC에서의 바이노럴 복호화의 구조도이다. 그림에서 Lf는 좌측 전면 (left front), Ls는 좌측 후면 (left surround), Rf는 우측 전면 (right front), Rs는 우측 후면 (right surround), C는 중앙 (center) 채널을 나타낸다.

VSLI를 이용하여 주파수 영역에서 계산된 다채널 이득 ($g_{lC}(k), g_{lF}(k), g_{lS}(k), g_{2C}(k), g_{rF}(k), g_{rS}(k)$) 과 주파수 영역으로 변환된 다운믹스 신호 ($X_L(k), X_R(k)$), 다채널신호 각각의 HRTF 계수 ($H_C^L(k), H_C^R(k), H_{lF}^L(k), H_{lF}^R(k), H_{lS}^L(k), H_{lS}^R(k), H_{rF}^L(k), H_{rF}^R(k), H_{rS}^L(k), H_{rS}^R(k)$) 를 이용한 HRTF 렌더링은 다음과 같은 수학적식들로 표현할 수 있다.

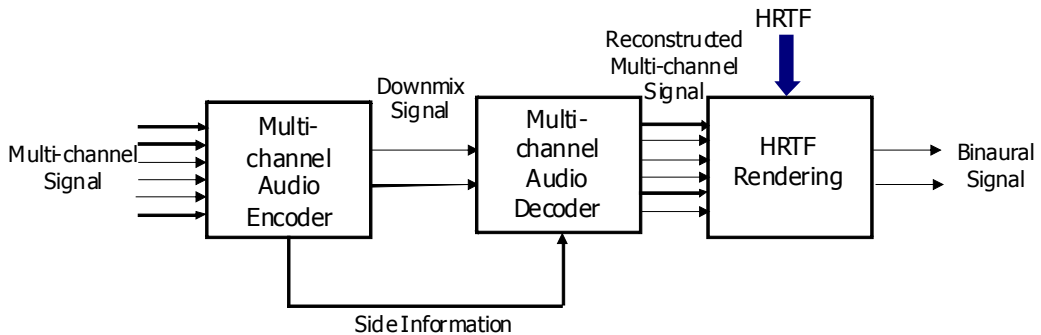


그림 4. 일반적인 다채널 오디오 부호화기에서의 바이노럴 복호화
Figure 4 General binaural decoding in multi-channel audio coder

오디오 부호화기의 복호화 과정을 거쳐서 생성되는 다채널 오디오 신호와 HRTF 계수간의 시간영역에서의 복적분을 통해서 수행된다. 그러나 이러한 바이노럴 복호화는 매우 큰 연산량으로 인해서

$$\begin{aligned}
 H_{lL}(k) &= g_{lC}(k) \cdot H_C^L(k) + g_{lF}(k) \cdot H_{lF}^L(k) + g_{lS}(k) \cdot H_{lS}^L(k) \\
 H_{rL}(k) &= g_{2C}(k) \cdot H_C^L(k) + g_{rF}(k) \cdot H_{rF}^L(k) + g_{rS}(k) \cdot H_{rS}^L(k) \\
 H_{lR}(k) &= g_{lC}(k) \cdot H_C^R(k) + g_{lF}(k) \cdot H_{lF}^R(k) + g_{lS}(k) \cdot H_{lS}^R(k) \\
 H_{rR}(k) &= g_{2C}(k) \cdot H_C^R(k) + g_{rF}(k) \cdot H_{rF}^R(k) + g_{rS}(k) \cdot H_{rS}^R(k)
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} O_L(k) \\ O_R(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{LL}(k) & H_{RL}(k) \\ H_{LR}(k) & H_{RR}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_L(k) \\ X_R(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

현한 바이노럴 렌더링 매트릭스이다. 여기에서 H_{LL} 과 H_{LR} 은 가운데 채널 C를 중심으로 좌반면

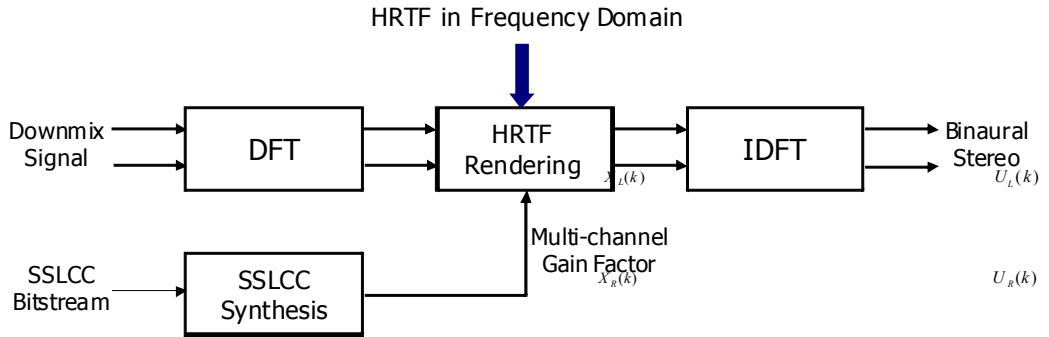


그림 5. 제안된 다채널 오디오 부호화기에서의 바이노럴 복호화
Figure 5 Proposed binaural decoding in multi-channel audio coder

식 1은 다채널 오디오 신호 각각에 대한 HRTF 계수와 VSLI 파라미터로부터 계산한 다채널 오디오 신호의 주파수 영역에서의 이득을 이용하여 표

에 위치하는 다채널 신호(Lf와 Ls)에 각 채널에 해당되는 HRTF계수를 적용하여 바이노럴 출력 신호의 좌/우 신호에 기여되는 정도를 나타내며, H_{RL}

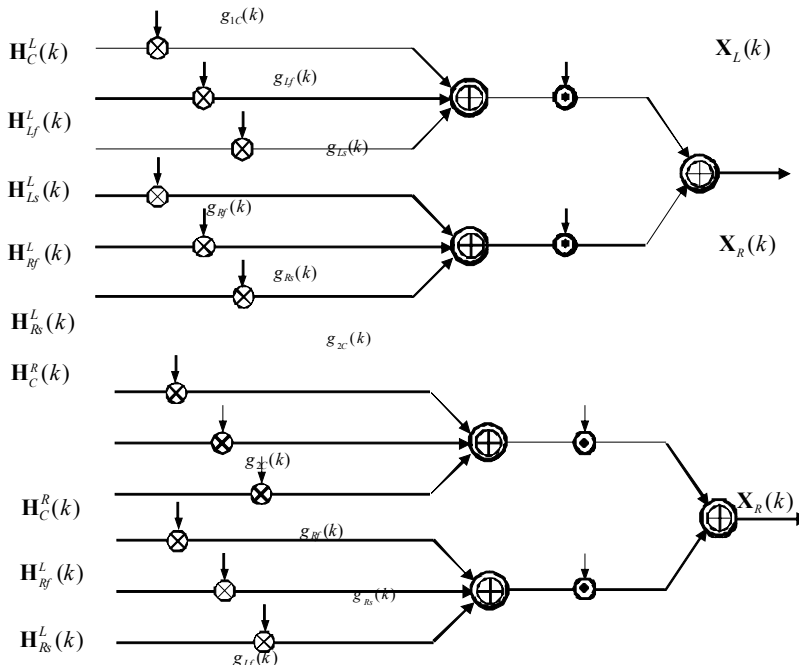


그림 6. 바이노럴 스테레오 출력 신호 생성을 위한 바이노럴 렌더링 상세도
Figure 6. Structure of binaural rendering for generating binaural output signal

과 H_{RR} 은 우 반면에 위치하는 다채널 신호 (Rf와 RS)가 바이노럴 출력 신호의 좌/우 채널에 기여되는 정도를 나타낸다. 이와 같이 좌 반면이나 우 반면에 위치하는 채널 신호가 바이노럴 출력 신호의 좌/우 채널 모두에 영향을 미치는 것은 공간 상에 하나의 음원이 발생하여 사람의 귀에 전달된다고 했을 때, 발생한 음원의 위치에 상관없이 사람의 양쪽 귀 모두에 전달되기 때문에 이를 반영하기 위한 것이다. 이렇게 계산된 HRTF 렌더링 매트릭스는 식 2에서 보는 바와 같이 스테레오 다운믹스

신호의 좌/우 신호에 곱해져서 최종적인 바이노럴 스테레오 출력 신호를 생성하게 된다. <그림 6>은 다채널 신호의 이득 값과 HRTF 계수와 다운믹스 신호를 이용한 바이노럴 스테레오 신호의 생성을 위한 바이노럴 렌더링의 상세도이다.

이와 같은 바이노럴 렌더링을 이용하는 SSLCC 바이노럴 복호화는 인접 프레임 간 오버랩으로 인한 오차 신호의 발생 (block artifact)를 최소화하기 위하여 <그림 7>과 같은 블록 처리 과정을 필요로 한다. 바이노럴 복호화의 블록처리는 먼저 2048샘

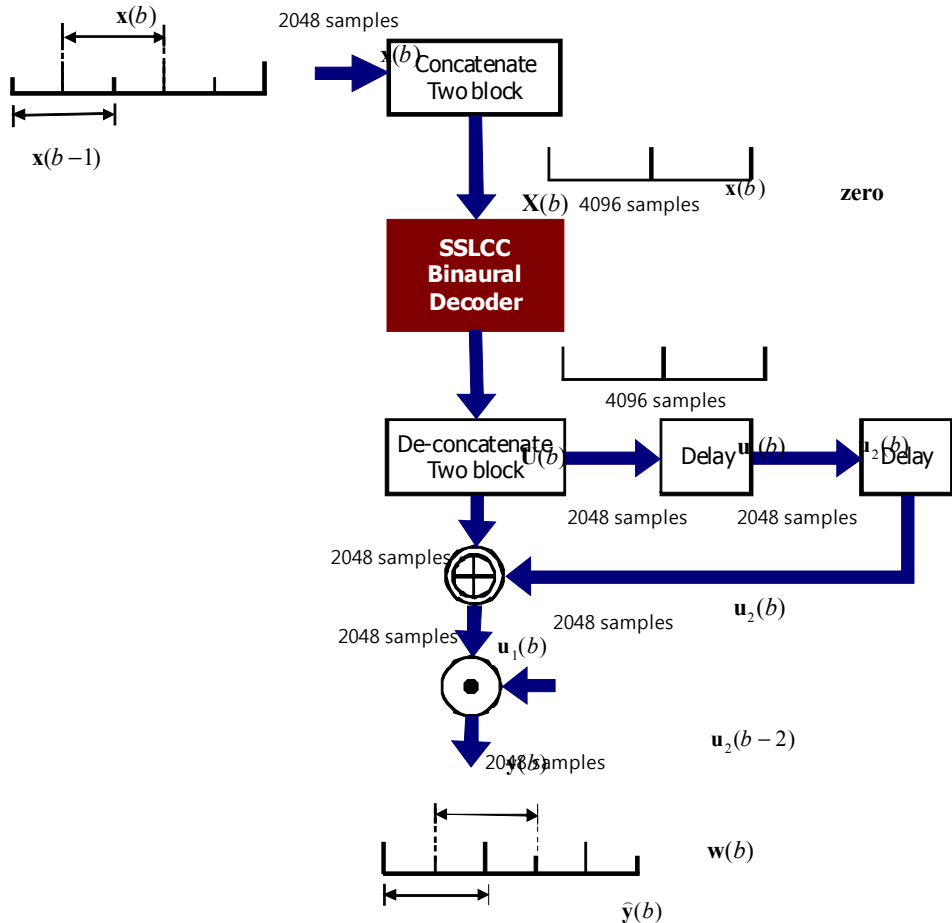


그림 7. 바이노럴 복호화의 블록 처리 과정
Figure 7. Procedure of block processing of binaural decoding

플의 다운믹스 신호의 뒷부분에 2048 샘플의 0을 추가하고 4096 포인트의 DFT (Discrete Fourier Transform)을 수행하여 주파수 영역으로 변환한다. 사전에 4096 포인트의 DFT를 수행하여 주파수 영역으로 변환되어있는 HRTF 계수를 적용하여 바이노럴 복호화를 수행한 후 4096의 IDFT (Inverse Discrete Fourier Transform)을 수행하여 시간영역으로 변환한다. 4096의 바이노럴 출력신호의 2048 샘플수의 앞부분과 2프레임 전의 바이노럴 출력신호의 2048샘플수의 뒷부분을 서로 더해서 2048샘플수의 최종 바이노럴 출력신호를 생성할 수 있다.

4. 실험결과

4.1 연산량 비교

본 논문에서 제안한 SSLCC 바이노럴 복호화와 일반적인 다채널 오디오 부호화기의 출력신호를 이용한 바이노럴 복호화의 연산량을 비교하면 <표 1>과 같으며, 제안된 SSLCC 복호화 과정에서 생성되는 다채널 오디오 신호의 주파수 영역에서의 이득값에 바이노럴 복호화를 적용하였을 경우 시간영역에서 바이노럴 복호화를 수행하는 것과 비교하여 90 % 이상의 연산량을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 바이노럴 복호화 연산량 비교 (N: 프레임 길이)
Table 1. Complexity comparison (N: frame size)

구분	DFT에 의한 연산량	복적분에 의한 연산량
기존의 바이노럴 복호화	$5 \times (N \times \log_2 2N)$	$10 \times (N \times N \text{ multiplications} + N \times N \text{ summations})$
제안된 바이노럴 복호화	$2 \times (2N \times \log_2 2N)$	$2 \times (28N \text{ multiplications} + 28N \text{ summations})$

<표 1>에 실제 프레임 길이 2048을 대입하면 기존의 바이노럴 복호화는 83,998,720, 제안된 바이노럴 복호화는 212,992의 연산량을 가지게 되어 제안된 방법에 의한 연산량의 감소율은 약 99.7 %이다.

4.2 음질평가

구현된 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기에서의 바이노럴 복호화의 성능을 확인하기 위하여 주관적인 청취평가를 수행하였으며, 오디오 아 이템은 <표 2>의 MPEG 오디오 서브그룹에서 제공한 5개의 5.1 채널 오디오 콘텐츠 콘텐츠를 사용하였다 [13]. 각각의 오디오 콘텐츠는 5.1 채널, 16비트 양자화, 44.1 kHz 샘플링 되어 있으며, 20초의 지속시간을 갖는다. 청취 평가는 오디오를 전공하며 청취 평가의 경험이 있는 6명을 대상으로 실시되었으며, 청취평가에 사용된 시스템은 <표 3>에서 보는 바와 같다. 또한 청취 평가 방법은 Senheiser HD 650 헤드폰을 이용하여 MUSHRA 테스트를 수행하였다 [14]. MUSHRA 테스트는 원신호를 가지고 생성한 바이노럴 사운드와 <표 3>의 평가 대상을 무작위로 평가자에게 들려주고, 원신호와 비슷할수록 높은 점수를 매기도록 하는 주관적인 음질 평가 방법이다.

표 2. 오디오 아이템
Table 2. Test audio items

번호	아이템 명	설명
1	Applause	Ambience
2	Chostakovitch	Music
3	Fountain_music	Pathological
4	Glock	Pathological
5	Rock_concert	Music

표 3. 청취평가에 사용된 시스템
Table 3. System under listening test

시스템	시스템 상세
Hidden reference	원래의 다채널 오디오 신호를 가지고 생성한 바이노럴 사운드
Anchor	Hidden reference 신호를 3.5 kHz low-pass 필터링한 신호
Typical	다채널 오디오 부호화기의 출력 신호를 이용하여 생성한 바이노럴 사운드
Proposed	다채널 오디오 부호화기의 복호화 과정에서 생성된 다채널 신호의 주파수 영역에서의 이득 값을 이용하여 생성한 바이노럴 사운드

청취평가 결과는 <그림 8>에서 보는 바와 같이 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기의 복호화 과정에 적용된 바이노럴 복호화 방법이 기존의 복원된 다채널 오디오 신호에 바이노럴 복호화를 적용한 것보다 낮은 점수를 보이지만, 모든 테스트

아이템에 대해 신뢰도 구간이 서로 겹쳐 있어 통계적으로 같은 음질을 보인다고 판단할 수 있다. 이러한 청취 평가 결과는 제안된 바이노럴 복호화 방법이 기존의 바이노럴 복호화 방법이 지니는 연산량 문제를 크게 개선하면서도 음질의 열화는 거의 없다는 것을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기 중 하나인 SSLCC의 복호화 과정에서 다채널 오디오에 의해 생성되는 공간 상의 오디오 이미지를 나타내는 공간 큐인 VSLI로부터 계산된 다채널 오디오 신호 정보를 이용하여 주파수 영역에서 바이노럴 복호화를 수행함으로써 연산량을 최소화하는 바이노럴 복호화 방법을 제안하였다. 제안된 바이노럴 복호화 방법은 기존의 바이노럴

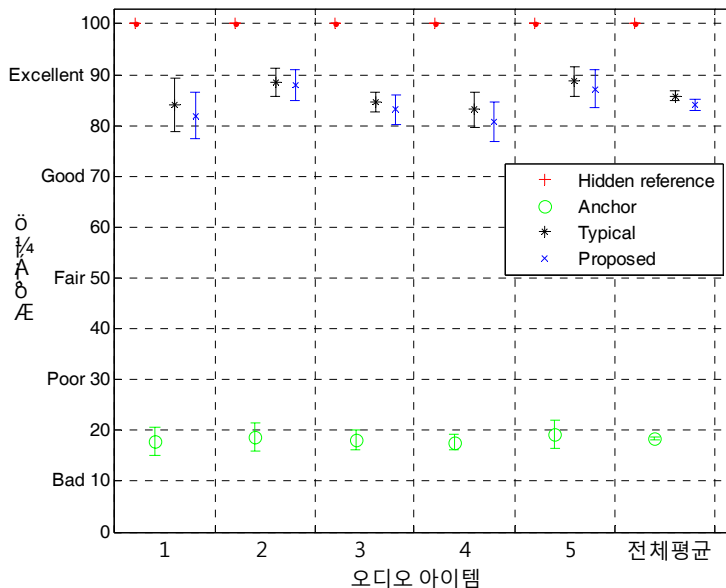


그림 8. 주관적 청취평가 결과
Figure 8. Subjective listening test result

복호화 방법의 10%도 되지 않는 작은 연산량을 가지고 원하는 바이노럴 사운드를 생성함으로써 실시간 구현이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 또한 청취 평가 결과는 제안된 바이노럴 복호화 방법과 기존의 방법 간의 음질 차이가 거의 없음을 보여 준다. 향후 과제로 현재의 바이노럴 복호화 방법에서 주파수 영역 전체에 대해서 크기와 위상 정보 모두 조절하는 것을 고주파 영역에 대해서는 사람이 위상정보에 둔감하다는 특징을 이용하여 주파수 영역을 저주파와 고주파 대역으로 나눠서 고주파 영역은 크기 정보만을 조절하는 방법을 적용함으로써 연산량을 더욱 줄이는 연구를 수행할 예정이다.

References

- [1] J.-I. Seo *et.al.*, *History and Technology Development Trent of Multi-Channel Sound*, Journal of The Korean Society of Broadcast Engineers, Vol. 16, No. 4, pp.8-19, 2011.
- [2] T.-J. Lee *et.al.*, *Multi-Channel Audio Reproduction Technology based on 10.2 ch for UHDTV*, Journal of The Korean Society of Broadcast Engineers, Vol. 17, No. 5, pp.827-837, 2012.
- [3] ISO/IEC 23003-1, *Information Technology-MPEG Audio Technologies - Part 1: MPEG Surround*, 2007.
- [4] C. Faller and F. Baumgarte, *Binaural cue coding - Part II: Schemes and Applications*, IEEE Trans. Speech Audio Processing, Vol. 11, pp. 520-531, Nov. 2003.
- [5] H.-G, Moon *et.al.*, *A multi-channel audio compression method with virtual source location information for MPEG-4 SAC*, Consumer Electronics, IEEE Transactions on. 51(4), pp. 1253- 1259, Jan. 2005.
- [6] S.-K Beack *et.al.*, *Angle-Based Virtual Source Location Representation for Spatial Audio Coding*, ETRI Journal, Vol. 28, No. 2, pp. 219-222, April 2006.
- [7] K.-K Kim *et. al.*, *Improved channel level difference quantization for spatial audio coding*, ETRI Journal, vol. 29, No. 1, pp. 99-102, Feb. 2007.
- [8] Kwangki Kim *et. al.*, *Mastering Signal Processing in MPEG SAOC*, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E95-D, No.12, pp.3053-3059, Dec. 2012.
- [9] B. Svein, and N. Barrett, *A new method for B-format to binaural transcoding*, Proceeding of the 40th International Conference on Audio Engineering Society, Tokyo, pp. 8-10, 2010.
- [10] <http://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>
- [11] B. Gardner and K. Martin, *HRTF Measurements of a KEMAR Dummy Head Microphone*, MIT Media Lab Perceptual Computing -technical Report #280, May 1994.
- [12] Zwicker, Eberhard, and Hugo Fastl. *Psychoacoustics: Facts and models*, Vol. 2. Berlin: Springer, 1999.
- [13] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG), *Procedures for the Evaluation of Spatial Audio Coding Systems*, Document N6691, Redmond, July 2004.
- [14] ITU-R Recommendation, *Method for the Subjective Assessment of Intermediate Sound Quality (MUSHRA)*, ITU, BS. 1543-1, Geneva, 2001.

공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기 에서의 바이노럴 복호화 구현

김광기

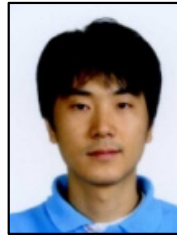
나사렛대학교 디지털콘텐츠학과

요 약

본 논문에서는 일반적인 스테레오 재생환경에서 사용자가 다채널 오디오 신호에 의한 실감 오디오 서비스를 즐길 수 있는 바이노럴 복호화 방법에 대하여 다루고 있다. 일반적인 다채널 오디오 신호의 바이노럴 복호화는 시간영역에서 HRTF (Head Related Transfer Function, 머리전달함수)와 복적분을 수행하여 바이노럴 스테레오 사운드를 생성하며, 매우 큰 연산량으로 인해 실시간 구현이 불가능하여 유/무선 네트워크나 통신망에서 적용되기 어렵다는 한계를 지니고 있다. 본 논문에서는 바이노럴 복호화의 연산량을 줄이기 위하여 공간 큐 기반의 다채널 오디오 부호화기의 복호화 과정에서 VSLI (Virtual Source Location Information, 가상 음원 위치 정보)로부터 계산된 다채널 오디오 신호 정보를 이용하여 주파수 영역에서 바이노럴 복호화를 수행하는 방법을 제안하였다. 제안된 바이노럴 복호화 방법은 기존의 바이노럴 복호화 방법의 10%도 되지 않는 작은 연산량을 가지고 바이노럴 스테레오 사운드를 생성할 수 있으며, 실시간 구현이 가능하여 유/무선 네트워크나 통신망에서도 적용될 수 있다. 또한 청취평가 결과는 제안된 바이노럴 복호화 방법이 매우 작은 연산량을 가지고 구현되었음에도 기존의 방법과 비교해서 음질 차이가 거의 없음을 보여주고 있다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 나사렛대학교 교비학술연구조성비 지원에 의해 연구되었음.



Kwang Ki Kim received the B.S. degree in the Department of Electronic Engineering from Korea Aviation University, Koyang, South Korea, in 2002. The M.S. degree and the Ph.D.

degree in the Department of Information and Communications Engineering at Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, South Korea, in 2004 and 2011, respectively. He worked as a researcher in Samsung DMC R&D center in 2012. Currently, he is a professor in Korea Nazarene University, Chon-an, Korea. His research interests include multi-channel/-object audio coding, spatial audio, 3D sound, and their applications.

E-mail address: k2kim@kornu.ac.kr