

논문 2013-50-12-21

파라메트릭 스테레오 오디오 부호화를 위한 향상된 위상 합성 기법

(Improved Phase Synthesis for Parametric Stereo Audio Coding)

현 동 일*, 박 영 철**, 윤 대 희***

(Dong-il Hyun[Ⓢ], Young-cheol Park, and Dae Hee Youn)

요 약

파라메트릭 스테레오 오디오 부호화는 공간 오디오 기법 중 스테레오에 특화된 부호화 기법이다. 본 논문에서는 기존의 파라메트릭 스테레오 기법에서 채널간 위상차 합성시 발생하는 문제점을 분석하였다. 기존의 업믹스 행렬에서는 채널간 위상차를 다운믹스 신호뿐만 아니라 잔향신호에도 합성하고 이로 인하여 반위상 관계를 위반한다. 채널간 상관도가 낮을 때, 잔향 성분에 대한 채널간 위상차 합성으로 인하여 발생하는 음질열화를 분석하였다. 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 신호 모델을 만족할 수 있도록 주요 성분에만 채널간 위상차를 합성하는 업믹스 행렬을 제안하였다. 주관적 음질 평가를 통하여 제안된 업믹스 행렬의 성능을 검증하였다.

Abstract

Parametric stereo(PS) audio coding is a specific version of spatial audio coding. In this paper, the problem due to the conventional synthesis of phase differences. In the conventional upmix matrix, phase differences are synthesized not only on downmix signal but also ambient signal, which violates the assumption that the ambient signals are anti-phased. Deterioration due to the phase synthesis is analyzed, especially, for low interchannel correlation. To solve this problem, new upmix matrix is proposed, which synthesizes phase differences only on downmix signal. The performance of the proposed upmix matrix is verified by the subjective listening tests.

Keywords : parametric stereo, phase synthesis, anti-phase, 파라메트릭 스테레오, 위상 합성, 반위상

I. 서 론

공간 오디오 부호화(SAC: spatial audio coding)에 대한 다양한 연구가 지난 십여 년간 진행되어 왔다. SAC에서는 멀티채널 오디오를 분석하여 모노 또는 스테레

오의 다운믹스 신호와 공간 파라미터를 얻고 이러한 공간 파라미터들을 다운믹스 신호에 적용하여 인지적으로 원본과 유사한 멀티채널 오디오를 합성한다^[1~2]. 이 다운믹스 신호는 후방호환성을 가지며 따라서 기존의 복호화기에서도 동작한다.

양이단서부호화(BCC: binaural cue coding)는 SAC 기술을 구성하는 기본 기술이며 채널간 레벨차(ICLD: inter-channel level difference), 채널간 시간차(ICTD: inter-channel time difference), 채널간 상관도(ICC: inter-channel correlation)의 세 가지의 공간 파라미터를 이용한다. ICLD와 ICTD는 음원의 방향과 연관된 파라미터이며 ICC는 음원의 폭과 연관된 파라미터이다

* 학생회원, *** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학부 (School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

** 평생회원, 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 (Computer and Telecommunications Engineering Division, Yonsei University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jchang@hanyang.ac.kr)
접수일자: 2013년9월29일, 수정완료일: 2013년12월2일

[3]. SAC 기술을 응용한 표준화된 코덱으로는 파라메트릭 스테레오^[1](PS: parametric stereo)와 MPEG 서라운드^[2](MPS: MPEG Surround)가 잘 알려져 있다. PS의 부호화 및 복호화 모듈은 MPS의 부호화 및 복호화 모듈인 TTO(two-to-one)과 OTT(one-to-two) 모듈에 대응된다^[2]. PS는 낮은 비트율로 스테레오를 표현하기 위한 다양한 코딩 기술에 적용되었다. PS는 2004년에 3GPP와 MPEG에 의해 각각 표준화된 enhanced aacPlus^[4]와 HE-AAC v2^[5]에 포함되었으며 가장 최근에 표준화된 코덱인 음성/음악 통합 압축기술(USAC: unified speech and audio codec)^[6]에도 MPS에 PS의 위상 정보가 추가된 스테레오 수정버전인 MPS 2-1-2 모드로서 포함되었다.

PS는 채널간 강도차(IID: interchannel intensity difference), 채널간 일관성(IC: interchannel coherence), 채널간 위상차(IPD: interchannel phase difference), 전체 위상차(OPD: overall phase difference)의 네 개의 공간 파라미터를 이용한다. PS의 성능에 있어 가장 중요한 것은 이러한 공간 파라미터들을 정확하게 분석하고 효과적으로 합성하는 것이다. 이러한 공간 파라미터 분석 및 합성에 관련된 연구들이 계속적으로 진행되었다^[7-12].

특히 PS에서 추가된 파라미터인 OPD가 나머지 파라미터들을 이용하여 추정할 수 있다는 연구가 수행되었다^[12]. 또한 이로부터 수정된 버전으로서 IC를 제외한 나머지 두 파라미터들을 이용하여 추정하는 방법이 제안되었으며 이는 USAC에 포함된 MPS 2-1-2 모드에 채용되었다^[7].

기존의 업믹스 행렬에서는 분석된 파라미터들을 순차적으로 합성한다. 전송된 다운믹스 신호와 비상관기(decorrelator)를 이용하여 인위적으로 생성한 신호를 섞어줌으로써 분석된 IC를 합성한다. 이 때 다운믹스 신호와 비상관기를 거친 신호는 각각 주요성분분석(PCA: principal component analysis)에서의 주요성분(primary component)과 잔향성분(ambient component)에 대응될 수 있다. 이후 각 채널에 대해 적절한 이득을 곱해줌으로써 의도하는 IID가 합성되도록 한다. 마지막으로 채널별로 위상을 곱해줌으로써 의도하는 IPD가 합성되도록 한다. 하지만 이 때 각 채널에는 비상관기를 통해 얻은 잔향성분이 포함되어 있다. PS에서 가정하는 신호모델은 각 채널에 반위상 형태의 잔향성분이

섞여있다고 가정한다. 따라서 잔향성분에 대한 위상차 적용은 원래의 신호모델을 위반하며 이러한 잔향성분에 대한 위상차 적용은 음질을 열화시킬 수 있다.

본 논문에서는 PS에서 가정하는 신호모델을 만족하기 위하여 주요성분만을 위한 위상차 합성방법을 제안하였다. 제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 파라미터 측면에서의 객관적 성능을 비교하였으며 최종적으로 주관적 음질 평가를 통하여 제안된 방법의 성능을 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 PS에서 사용하는 신호모델과 기존 업믹스 행렬에서의 위상 합성 방법에 대하여 검토하였다. 기존의 업믹스 행렬에서 발생하는 문제점과 이를 해결하기 위해 제안된 업믹스 행렬에 대한 상세한 설명은 III장에 기술하였다. IV장에서는 주관적 음질평가를 통하여 제안된 방법의 성능을 검증하였으면 최종적으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 배경지식

1. PS의 기본 신호 모델

PS에서는 입력 신호의 분석을 위하여 식(1)과 같은 신호 모델을 가정하고 있다. 좌우 채널에는 공통적인 신호 S가 포함되어 있으며 이는 채널별로 다른 이득을 가진다. 또한 각 채널에는 S와 비상관관계를 가지는(decorrelated) 신호 D가 포함되어 있으며 S와 달리 채널간에 반위상(anti-phase)의 관계를 가진다. 이는 기존의 Dolby surround에서 반위상 잔향을 생성하는 것과 같은 개념이다^[13]. 또한 S와 D는 주요성분분석의 결과로 얻어지는 주요성분과 잔향성분에 대응된다. k는 주파수 인덱스를 나타낸다.

$$\begin{aligned} L[k] &= a_L S[k] + D[k] \\ R[k] &= a_R S[k] - D[k] \end{aligned} \quad (1)$$

일반적으로 공간에서의 잔향은 서로 간에 반위상이 아닌 비상관관계를 가진다. 그럼에도 불구하고 반위상관계의 잔향성분을 사용하는 이유는 Dolby surround의 발전과정에서 연유한다^[13]. Dolby surround에서는 후방채널을 위한 잔향성분을 얻기 위하여 스테레오의 차신호를 사용한다. 후방채널이 하나인 경우에는 차신호를

그대로 출력하지만 2채널을 가진 경우에는 차신호에 대하여 각각 좌우 90도로 위상을 패닝시킨 신호를 출력해 줌으로서 좌우 채널간에 위상이 반전되도록 한다^[13].

PS는 다음과 같이 공간 파라미터를 계산한다^[1].

$$\begin{aligned} \text{IID}[b] &= \frac{\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} L_m[k] L_m^*[k]}{\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} R_m[k] R_m^*[k]} \\ \text{IC}[b] &= \frac{\left| \sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} L_m[k] R_m^*[k] \right|}{\sqrt{\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} L_m[k] L_m^*[k]} \sqrt{\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} R_m[k] R_m^*[k]}} \\ \text{IPD}[b] &= \angle \left(\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} L_m[k] R_m^*[k] \right) \\ \text{OPD}[b] &= \angle \left(\sum_m \sum_{k=k_b}^{k_{b+1}-1} L_m[k] S_m^*[k] \right) \end{aligned} \quad (2)$$

b는 파라미터 밴드의 인덱스이며 kb는 파라미터 밴드의 시작 인덱스이다. IID는 좌우 채널간의 파워 비율을 나타내며 IC와 IPD는 각각 정규화된 상호상관도의 크기와 위상이다. 따라서 IC는 0부터 1사이의 값으로 제한된다. OPD는 다운믹스 신호와 왼쪽채널에 대한 위상차로서 위상차 합성시 각 채널별로 합성되어야 하는 위상차의 크기를 결정하기 위해 사용된다.

2. 기존의 업믹스 행렬

출력신호는 다운믹스 신호와 비상관된 신호들을 믹싱해 줌으로써 합성할 수 있다. 이 경우 업믹스 행렬은 전송된 공간 파라미터들이 출력 신호에 대해서도 유지되도록 설계되었다. PS의 업믹스 행렬은 다음과 같이 정의된다^[6].

$$\begin{bmatrix} \hat{L}[k] \\ \hat{R}[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\text{OPD}} & 0 \\ 0 & e^{j(\text{OPD}-\text{IPD})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \cos(\beta+\alpha) & \lambda_1 \sin(\beta+\alpha) \\ \lambda_2 \cos(\beta-\alpha) & \lambda_2 \sin(\beta-\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{S}[k] \\ D(\tilde{S}[k]) \end{bmatrix} \quad (3)$$

이 때 각각의 계수들은 식(4)와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{10^{\text{IID}[b]/10}}{1+10^{\text{IID}[b]/10}}}, \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{1}{1+10^{\text{IID}[b]/10}}} \\ \alpha &= \frac{1}{2} \arccos(\text{IC}[b]), \quad \beta = \arctan \left[\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \tan(\alpha) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

합성된 출력 신호 내의 주요성분과 잔향성분은 그림 1에 나타낸 것처럼 벡터로 표현될 수 있다^[14]. 벡터 공간은 서로 같은 크기를 가지며 직교하는 다운믹스(주요 성분) $\tilde{S}[k]$ 과 그에 대한 비상관된 신호인 (잔향성분)

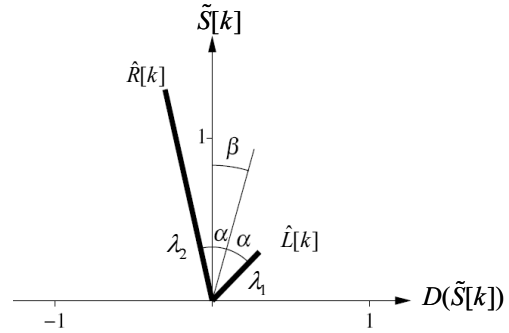


그림 1. 주요성분과 잔향성분 영역에서의 업믹스 표현
Fig. 1. Representation of upmixing in primary-ambient domain

$D(\tilde{S}[k])$ 에 의해 확장되며 IID와 IC는 신호 간에 이루는 크기와 각도에 의해 통제된다.

각 채널의 이득은 IID에 의해 결정되며 회전각도 α 는 IC에 의해 결정된다. 행렬의 원소들의 제곱의 합은 항상 1이 된다. 상수 β 는 출력 신호 내의 다운믹스 신호의 비율이 최대가 되도록 하는 값으로 결정되며 출력의 크기가 일정하므로 다르게 해석하면 출력 신호 내의 비상관된 신호의 비율이 최소가 되도록 하는 것이다. 이와 같이 출력 신호 내의 비상관된 신호의 비율이 최소가 되는 것은 각 채널에 대한 이득이 부호는 반대이며 크기가 같은 경우에 얻어진다. 따라서 이 때, $\lambda_1 \sin(\beta - \alpha)$ 는 $-\lambda_2 \sin(\beta - \alpha)$ 와 같아지게 되며 이는 식 (1)과 같이 PS에서 가정한 신호 모델에 부합한다^[1].

이와 같이 업믹스 행렬에서도 반위상 잔향성분을 사용하는 것은 두 가지 장점 때문이다. 첫째는 비상관기가 하나만 필요하다는 것이며 나머지는 비상관관계의 잔향성분을 사용하는 것보다 반위상의 잔향성분을 사용하는 경우에 훨씬 적은 양의 잔향성분으로도 상관도를 떨어트릴 수 있기 때문이다.

$$\begin{aligned} L[k] &= a_L S[k] + N_1[k] \\ R[k] &= a_R S[k] + N_2[k] \end{aligned} \quad (5)$$

N_1 과 N_2 는 각 채널에 포함된 잔향성분을 나타내며 이 경우 N_1 과 N_2 는 주요성분인 S와 각각 비상관관계를 가지며 N_1 과 N_2 상호간에도 비상관관계를 만족한다. 식(5)와 같이 서로 비상관관계의 잔향성분을 사용하는 신호모델을 가정하는 경우 IC를 0으로 가지는 출력을 얻기 위해서는 주요성분은 없고 잔향성분만으로 신호를 합성해야 한다. PS에서 잔향성분은 인위적인 비상관기

를 이용하여 만들어지기 때문에 출력신호의 자연스러움 (naturalness)이 감소하며 따라서 잔향성분이 많아질수록 전체적인 음질은 감소하게 된다. 반위상관계의 잔향성분을 가정하는 경우 IC를 0으로 하는 출력을 얻기 위해 사용되는 잔향성분의 크기가 주요성분보다 크지 않는 장점을 가진다^[11].

III. 반위상 잔향성분에 기반한 위상 합성을 위한 업믹스 행렬

이 장에서는 기존의 업믹스 행렬에서 잔향성분에 대한 위상 합성으로 인하여 발생하는 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위하여 주요성분에만 위상을 합성하는 업믹스 행렬을 제안하였다.

1. 기존 업믹스 행렬의 문제점

식(3)에서 나타난 것처럼 기존의 업믹스 행렬에서는 위상을 주요성분뿐만 아니라 잔향성분에도 합성한다. 그러나 이와 같은 위상합성은 출력 신호 내에 포함되는 잔향성분들이 반위상 관계를 벗어나 동위상에 가까워지는 것을 야기한다. 이는 식(1)이 나타내는 PS에서 사용하고 있는 신호모델을 위반하게 된다. 이러한 문제점은 IPD가 π 에 근접할수록 심각하게 나타난다. 또한 IID와 IC가 0일 때 출력신호내의 잔향성분의 상대적인 크기가 가장 커지게 되기 때문에 이러한 공간 파라미터들을 가질 때 문제점이 두드러지게 된다. 즉, 동일한 에너지를 가지는 비상관계의 잔향이 좌우 채널에 존재할 때이다.

PS에서는 IC가 낮은 경우 음질열화가 가장 크게 발생한다. 이는 출력신호에 합성되는 인위적인 잔향성분의 비율이 증가하기 때문이며 또한 이 경우 IPD 파라미터도 균일하게 분포되는(uniformly distributed) 특성을 가지며 시간 변화에 따라 급격하게 변하기 때문에 프레임간의 상쇄(cancellation)로 인하여 음질이 열화된다. 이 경우 같은 시간간과수영역상의 잔향성분에 대해서도 동일한 IPD가 적용되기 때문에, 주요성분과 잔향성분에서 발생하는 상쇄가 중첩되기 때문에 음질열화 인지되게 된다.

이러한 문제점을 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용된 음원은 남성음성으로서 이에 대하여 각 채널에 서로 다른 무작위 위상(random phase)을 합성하여 인공적인

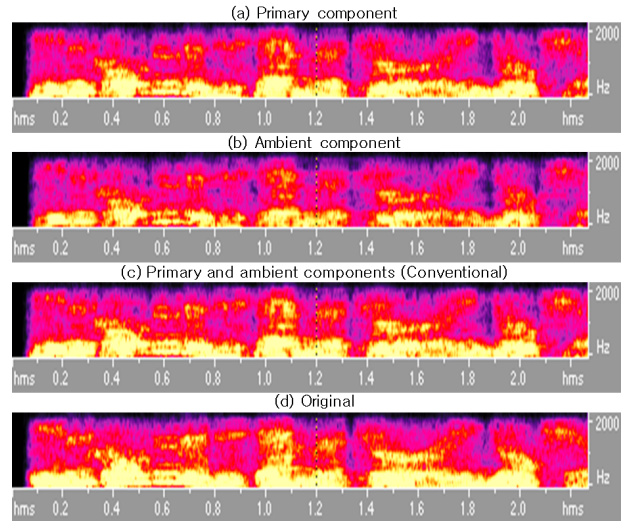


그림 2. 합성된 신호들 (a), (b), (c)과 원본 신호(d)에 대한 스펙트로그램

Fig. 2. Spectrogram of the synthesized signals (a), (b), (c) and original signal (d).

잔향 신호를 발생시켰다. 그림 2에 출력신호에 대한 스펙트로그램을 나타내었다. 그림 2(a)와 (b)는 기존의 업믹스 행렬을 이용하여 각각 주요성분과 잔향성분만을 합성한 것이며 그림 2(c)의 경우는 주요성분과 잔향성분을 모두 포함한 출력신호를 나타낸 것이다. 그림 2(d)가 나타내는 원본 신호에 비교하면 모든 경우에서 프레임간 상쇄로 인한 spectral hole이 관찰되었다.

2. 제안된 업믹스 행렬

본 논문에서는 앞 절에서 언급된 문제점들을 해결하기 위하여 식(6)과 같이 주요성분에만 위상을 합성하는 업믹스 행렬을 제안한다.

$$\begin{bmatrix} \hat{L}[k] \\ \hat{R}[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \cos(\beta + \alpha) e^{j\text{OPD}} & \lambda_1 \sin(\beta + \alpha) \\ \lambda_2 \cos(\beta - \alpha) e^{j(\text{OPD} - \text{IPD})} & \lambda_2 \sin(\beta - \alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{S}[k] \\ D(\tilde{S}[k]) \end{bmatrix} \quad (6)$$

제안된 업믹스 행렬은 잔향성분의 위상에 변형을 가하지 않으며 $\lambda_1 \sin(\beta + \alpha)$ 와 $\lambda_2 \sin(\beta - \alpha)$ 간의 관계에 의해 잔향성분간의 반위상관계를 만족한다. IID값 또한 기존과 동일하게 유지하도록 한다.

그림 3은 원본 신호와 제안된 방법을 사용하여 얻은 출력 신호에 대한 스펙트로그램을 나타낸 것이다. 제안된 방법의 경우가 기존의 방법보다 spectral hole의 빈도가 감소하고 원본 신호와 유사한 스펙트로그램을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

주요성분에만 위상을 합성하는 것으로 인하여 출력 신호가 나타내는 공간 파라미터들에 대한 변화가 있는지를 확인하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 원본과의 차이를 분석하였다. 앞 절에서와 동일한 방법으로 생성한 신호에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4는 원본에 대해 분석한 각각의 파라미터들과, 기존의 방법과 제안된 방법을 통하여 얻은 출력에 대한 각각의 파라미터들 간의 차이에 대하여 밴드별 RMS를 나타낸

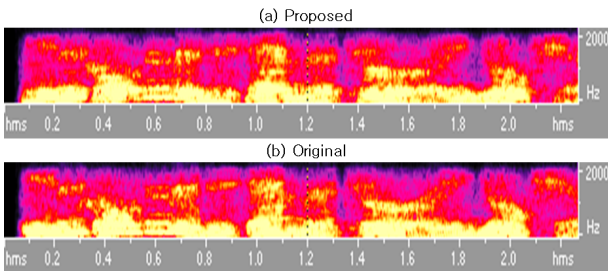


그림 3. 제안된 업믹스 행렬을 이용하여 합성된 신호(a)와 원본 신호(b)에 대한 스펙트로그램

Fig. 3. Spectrogram of the synthesized signal using the proposed upmix matrix and original signal.

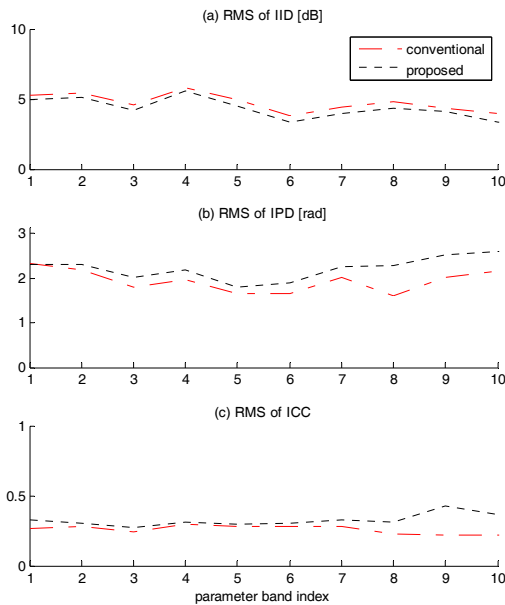


그림 4. 기존의 방법과 및 제안된 방법에 의해 합성된 신호들과 원본 신호간의 파라미터들 간의 차이 (a) IID, (b) IPD, (c) IC

Fig. 4. Difference between the parameters of synthesized signal using the conventional and proposed method and the original signal (a) IID, (b) IPD, and (c) IC.

것이다.

IID의 경우 두 방법 간에 거의 차이를 보이지 않았으며 유사한 수준의 RMS 차이를 보여주었다(그림 4(a)). IPD와 ICC의 경우 제안된 방법의 경우에 모두 기존 방법보다 큰 차이를 보여주는 것을 확인할 수 있었다(그림 4(b), (c)). IPD의 경우, 제안된 방법에서는 잔향성분에 위상을 합성하지 않기 때문에 잔향성분이 가지는 큰 위상차로 인하여 원본 신호보다 큰 위상차를 야기한다. 또한 반위상을 가지는 잔향성분의 특성상 주요성분에 대한 위상합성으로 인하여 반위상에 가까워질수록 전체적인 상관도는 증가하게 된다. 결과적으로 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 합성되는 IPD와 IC를 증가시킨다. 그러나 사전실험에서 이러한 차이는 음상의 위치나 폭을 왜곡시키지 않는 것을 확인하였다.

IV. 성능 평가

제안된 업믹스 행렬의 성능을 검증하기 위하여 주관적 청취 실험을 수행하였다. 청취 실험에 대한 경험이 있는 8명의 피실험자가 참여하였으며 이중-맹검법을 사용하는 MUSHRA 실험 방법을 이용하였다^[15]. 평가는 표 1에 표기된 다섯 개의 실험 샘플에 대해 Sennheiser HD600 헤드폰을 이용하여 수행되었다. 실험에는 48 kHz의 샘플링 주파수를 가지는 다섯 개의 샘플이 사용되었다. ‘speech05’는 3장에서 사용된 샘플과 동일하며 나머지 샘플들은 USAC 표준화 과정에서 사용되는 테스트 샘플들 중 낮은 ICC값을 보이는 샘플들이다.

주관적 음질평가 결과를 각각 그림 5에 나타내었다. 실험 결과에 대한 전체 평균과 95 % 신뢰구간을 나타내었다. 실험 결과는 제안된 알고리즘이 기존에 비해 모든 경우에 향상된 음질을 보임을 나타낸다. 특히

표 1. 실험 샘플
Table 1. Test samples.

샘플명	설명
1	speech05
2	Music_1
3	salvation
4	SpeechOverMusic_1
5	te15

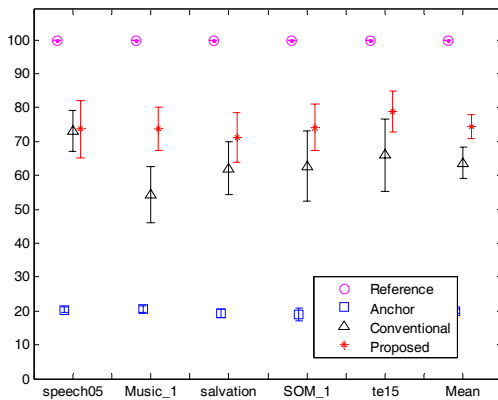


그림 5. MUSHRA 청취 실험 결과
Fig. 5. MUSHRA listening test results.

‘Music_1’ 샘플의 경우 신뢰구간이 겹치지 않을 정도로 현저한 개선을 보여주었는데 이러한 차이는 주로 기타 디스토션이 재생되는 구간에서 관찰되었다.

V. 결 론

본 논문에서는 파라메트릭 스테레오 오디오 부호화에서 채널간 위상차를 합성할 때 발생할 수 있는 문제점을 분석하였다. 전제된 신호 모델에서는 각 채널에 합성되는 잔향성분의 위상이 반위상을 가진다. 그러나 기존의 업믹스 행렬에서는 채널간 위상차를 잔향성분에도 합성하고 있으며 이는 신호 모델을 위반하게 된다. 특히 ICC가 낮은 경우, 위상차 합성으로 인하여 발생할 수 있는 프레임간 상쇄로 인한 음질열화를 야기한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 신호 모델과 같이 잔향성분의 위상은 변화시키지 않으며 주요성분에만 채널간 위상차를 합성하는 업믹스 행렬을 제안하였다. 주관적 음질 평가를 통하여 제안된 업믹스 행렬의 성능을 검증하였으며 실험 결과로부터 제안된 알고리즘이 기존에 비해 항상 뛰어난 성능을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] J. Breebaart, S. van de Par, A. Kohlrausch and E. Schuijers, “Parametric Coding of Stereo Audio” *EURASIP J. Appl. Signal Process.*, vol 9, pp. 1305-1322, 2004.
[2] J. Breebaart, G. Hotho, J. Koppens, E. Schuijers,

W. Oomen, and S. van de Par, “Background, Concept and Architecture for the Recent MPEG Surround Standard on Multichannel Audio Compression” *J. Audio Eng. Soc.* vol 55, pp. 331-351, 2007.
[3] C. Faller and F. Baumgarte, “Binaural Cue Coding - Part II: Schemes and applications,” *IEEE Trans. on Speech and Audio Proc.*, vol. 11, no. 6, Nov. 2003.
[4] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), “Enhanced aacPlus general audio codec: Encoder specification parametric stereo part,” 3GPP TS 26 series Rel. 9 (2009).
[5] M. Wolters, K. Kjörling, D. Homm, and H. Purnhagen, “A closer look into MPEG-4 high efficiency AAC,” in *Proc. 115th AES Convention*, New York, NY, USA, October 2003, preprint 5871.
[6] Study on ISO/IEC 23003-3:201x/DIS, Information technology - MPEG audio technologies - Part 3: Unified speech and audio coding, N12013 (2011).
[7] J. Kim, E. Oh, & Julien Robilliard, “Enhanced stereo coding with phase parameters for MPEG Unified Speech and Audio Coding,” in *Proc. 127th AES Convention*, New York, NY, USA, Oct. 2009, preprint 7875.
[8] D. Hyun et al., “Robust Interchannel Correlation (ICC) Estimation Using Constant Interchannel Time Difference (ICTD) Compensation,” in *Proc. 127th AES Convention*, New York, NY, USA, Oct, 2009, preprint 7934.
[9] M. Kim, E. Oh, & H. Shim, “Stereo audio coding improved by phase parameters,” in *Proc. 129th AES Convention*, New York, NY, USA, Nov. 2010, preprint 8289.
[10] E. Oh and M. Kim, “Enhanced stereo algorithms in the unified speech and audio coding,” in *Proc. AES 43rd Int. Conf.*, Pohang, Korea, Sep. 2011.
[11] D. Hyun et al., “Enhanced Interchannel Correlation (ICC) Synthesis for Spatial Audio Coding,” in *Proc. AES 43rd Int. Conf.*, Pohang, Korea, Sep. 2011.
[12] J. Lapiere and Roch Lefebvre, “On Improving Parametric Stereo Audio Coding”, in *Proc. 120th AES Convention*, Paris, France, 2006, May 2009, preprint 7875.
[13] R. Dressler, “Dolby surround pro logic II decoder principles of operation,” Tech. Rep. S00/13238, Dolby Laboratories Inc., 1988, available at <http://www.dolby.com>

- [14] H. Purnhagen: "Low Complexity Parametric Stereo Coding in MPEG-4," *7th International Conference on Audio Effects (DAFX-04)*, Naples, Italy, October 2004.
- [15] ITU-R BS.1534-1, "Method for the Subjective Assessment of Intermediate Sound Quality (MUSHRA)," International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland.

 저 자 소 개



현 동 일(학생회원)
 2005년 연세대학교 기계전자
 공학부 학사 졸업.
 2007년 연세대학교 전기전자
 공학과 석사 졸업.
 2007년~현재 연세대학교 전기
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 오디오 신호처리, 3D 오디오, 오디오 부호화>



박 영 철(평생회원)
 1986년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1988년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1993년 연세대학교 전자공학과
 박사 졸업

현재 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 <주관심분야: 음성 신호처리, 적응 신호처리, 오디오 신호처리>



윤 대 희(평생회원)
 1977년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1979년 Kansas State University
 석사 졸업
 1982년 Kansas State University
 박사 졸업

현재 연세대학교 전기전자공학과 교수
 <주관심분야: 적응 신호처리, 음성 신호처리, 오디오 신호처리>