

멀티채널 Spatial Audio Coding에서의 효율적인 Spatial Cues 사용과 그에 따른 Spectrum 보상방법

이병화(ICU), 백승권(ICU), 서정일(ETRI), 한민수(ICU)

<차 례>

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1. 서론 | 3.3. Spectrum 보상법 |
| 2. Binaural Cue Coding | 4. 실험 및 결과 |
| 2.1. Overview | 4.1. 실험 |
| 2.2. Type I | 4.2. 결과 |
| 2.3. Type II | 5. 결론 |
| 3. Hybrid Binaural Cue Coding | |
| 3.1. 배경 | |
| 3.2. ICC criterion | |

<Abstract>

An Efficient Method of Spatial Cues and Compensation Method of Spectrums on Multichannel Spatial Audio Coding

Byonghwa Lee, Seungkwon Beack, Jeongil Seo, Minsoo Hahn

This paper proposes an efficiently representing method of spatial cues on multichannel spatial audio coding. The Binaural Cue Coding (BCC) method introduced recently represents multichannel audio signals by means of Inter Channel Level Difference (ICLD) or Source Index (SI). We tried to express more efficiently ICLD and SI information based on Inter Channel Correlation in this paper. We adopt different spatial cues according to ICC and propose a compensation method of empty spectrums created by using SI. We performed a MOS test and measuring spectral distortion. The results show that the proposed method can reduce the bitrate of side information without large degradation of the audio quality.

*Keywords : Binaural cue coding, Inter channel level difference, Source index, Inter channel correlation

1. 서론

기술이 발달함에 따라 사람들은 좀 더 고화질의 영상과 고음질의 실감나는 소리를 원하고 있다. 요즘 홈시어터와 같은 장비들이 널리 보급되면서 멀티채널 오디오 신호를 극장에서 뿐만이 아니라 주위에서 많이 들을 수 있게 되었다. 이러한 오디오 신호들의 채널이 늘어나면 그에 따라 비트 율도 비례해서 증가하게 된다. 그리하여 멀티채널 오디오 신호를 좀 더 적은 비트 율을 가지고 효과적으로 전송하기 위한 많은 연구가 있어왔다. 그 예로 Sum/Difference(S/D)[1] 코딩이나 Intensity 코딩[2]등을 들 수가 있다. S/D코딩은 채널 간 신호의 중복 부분을 없애는 방법을 통해 비트 율을 감소시키기 위한 방법이다. 스테레오 신호의 경우 각 채널을 따로 전송하는 방법 대신 두 채널간의 합과 차의 신호를 전송하여 채널 간 중복된 신호를 전송하지 않아 전체 비트 율이 감소한다. Intensity 코딩은 high frequency 부분의 신호는 한 채널만 보내고 scale factor로 분리해내는 방법이다. 위와 같은 코딩 방법으로 어느 정도 비트 율을 줄일 수는 있지만 멀티채널 오디오 신호와 같이 채널이 늘어남에 따른 높은 비트 율을 줄이기로는 부족하다.

최근에 소개된 Binaural Cue Coding 방법은 멀티채널 오디오 신호를 적은 비트 율로 코딩할 수 있는 기술이다[3][4][5]. 인코더는 멀티채널 오디오 신호를 모노 채널과 약간의 공간 정보(spatial cue)를 전송하고 디코더는 모노 채널과 함께 온 공간 정보를 이용하여 멀티채널을 만들어 낸다. 채널이 늘어나면 사이드 정보도 따라 증가하지만 한 채널의 오디오 신호에 비해 무시할 정도로 작은 것이어서 멀티채널을 모노 채널로 보낼 때와 유사한 만큼의 현격한 전송 정보량에 있어 감소를 가져올 수 있다.

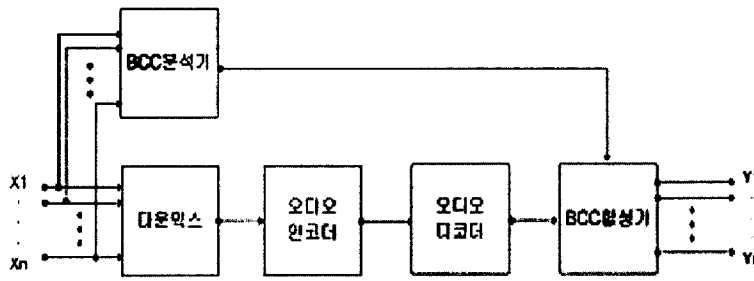
본 논문에서는 멀티채널 오디오 코딩기법인 BCC 방법을 기반으로 사이드 정보량을 좀 더 줄일 수 있는 방안을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서 BCC에 대해 간단히 설명하고 3장에서 사이드 정보의 비트 율 감소를 위한 hybrid BCC방법을 제안한다. 4장에서 실험 및 결과를 기술하고 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

2. Binaural Cue Coding(BCC)

2.1. Overview

BCC는 크게 Type I과 Type II의 두 가지 타입으로 나뉜다. Type I은 독립된 여러 개의 원 신호를 전송하여 수신 단에서 각 신호를 분리해 내는 것을 목적으로 한다. Type I으로 코딩된 신호는 수신 단에서 임의의 rendering 과정을 거쳐 재생되

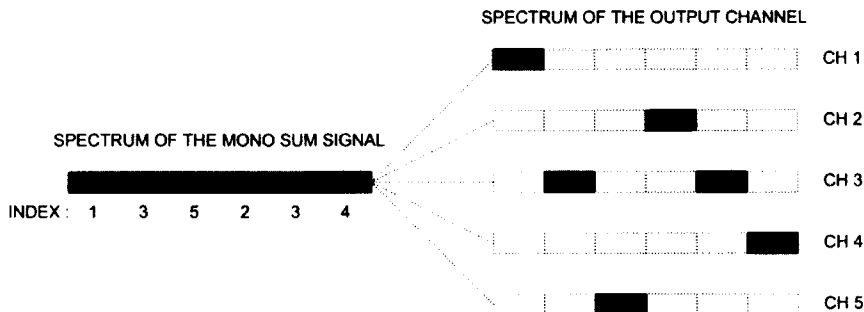
는데 이때 최종 렌더링 작업이 수신 단에서 정한 정보에 의해 이루어지므로 flexible rendering이라고도 부른다. Type I의 응용 분야로는 Tele-conferencing이나 Virtual Reality 등을 들 수가 있다[3][5]. Type II는 일반적으로 사용하는 멀티채널 오디오 신호의 경우에 적용될 수 있는 것으로 렌더링 작업이 끝난 신호를 전송하여 수신 단에서 코딩 전 신호의 느낌이 나도록 복원하여 재생 하는 곳에 사용된다. 전송하기 전 원 신호 느낌 그대로 수신 단에서 재생 될 수 있도록 하는 의미로 natural rendering이라고도 불린다. 두 가지 타입은 전체적인 구조는 동일하며 분석기와 합성기에서 사용되는 spatial cue의 종류가 다르다. BCC의 전체 구조는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> BCC의 구조

2.2. Type I

입력으로 들어온 독립된 여러 개의 원 신호는 <그림 1>에서 보듯이 모노 신호로 다운믹스 된다[3][6]. Type I의 spatial cue는 인덱스 정보이다. 인덱스 정보는 BCC 분석기에서 구해지는데 주파수 영역에서 몇 개의 EBR (equivalent rectangular bandwidth) 서브밴드별로 분석한다[3][7]. 한 밴드 내에는 하나의 소스신호만 있다는 가정으로 밴드 내 신호의 에너지를 비교 후 가장 큰 값을 지니는 신호의 인덱스를 spatial cue로 전송한다.



<그림 2> Type I 합성기에서 신호 복원

수신 단에서는 합성기에서 수신된 모노 합 신호와 인덱스 정보를 가지고 원 신호를 복원해 낸다. <그림 2>에서와 같이 모노 합 신호를 밴드별로 인덱스 정보에 따라 각 신호의 출력 밴드로 할당을 한다. 이때 인덱싱 되지 않은 나머지 채널의 스펙트럼이 비게 되어 신호의 열화가 생긴다. 이러한 음질의 열화를 없애기 위해서 수신 단에서는 적절한 렌더링 과정이 필요하다.

2.3. Type II

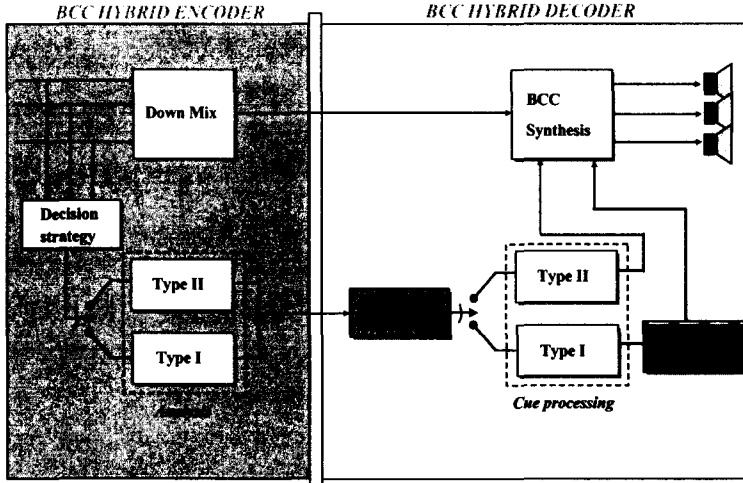
입력으로 멀티채널 오디오 신호가 들어오면 Type I과 같이 모노 신호로 다운믹스 되고 밴드별로 spatial cue를 분석기에서 구한다. Type II의 spatial cue는 ICLD(Inter Channel Level Difference), ICTD(Inter Channel Time Difference)로 입력된 멀티채널 중 하나의 기준 채널을 정하고 그 채널과 각 채널과의 에너지 비와 시간차를 나타낸 것이 ICLD와 ICTD이다. 그 외에 ICC(Inter Channel Correlation)라는 spatial cue가 있는데 이것은 채널 간 상관도를 나타낸다. 이것도 서브밴드 별로 구하게 되는데 모든 채널들 간에 대해서 구하는 것은 아니고 가장 에너지가 큰 두 채널의 밴드에 대해서만 구한다[3].

위의 spatial cue와 모노 신호를 이용하여 수신 단에서 원 멀티채널 소스를 만들어 낸다[3]. 본 논문의 실험에서는 spatial cue로 ICTD를 사용하지 않았다. 실험에서 사용된 ICTD($\pm 725\mu s$)는 잔향이 생기는 환경에서의 스피커 재생 시 사람들의 인지능력에 영향을 못 미치므로 실험에서 적용하지 않았다[3][8].

3. Hybrid Binaural Cue Coding

3.1. 배경

Type I의 spatial cue는 신호의 인덱스 정보로 형태가 정수형을 가지며 채널 수와는 상관없이 밴드 별로 하나의 정보를 가진다. 반면에 Type II의 경우 ICLD는 채널 간 에너지 비를 나타내는 실수로 정수에 비해 할당되는 비트수가 많고 밴드 당 전송되는 개수가 (전체채널-1)개로 채널이 증가하면 그에 따라 개수도 증가한다. 또한 채널 간 상관도가 낮은 부분에서는 type II의 코딩 방법 대신 type I을 사용해도 사람들이 그 차이를 적게 느낀다[3][5]. 따라서 채널 간 상관도가 낮은 부분에서는 spatial cue 전송 시 적은 비트 율을 가지는 type I으로 코딩을 하고 상관도가 큰 부분에서는 type II방법으로 코딩을 함으로써 spatial cue의 전송 비트 율을 줄일 수 있다. <그림 3>는 hybrid BCC의 구조를 나타낸다.



<그림 3> Hybrid BCC 구조

3.2. ICC criterion

채널 간 상관도가 낮을 경우에 type I으로 코딩을 하는데 코딩 전략을 바꾸기 위한 기준을 정해야 한다. 저주파부분에서의 채널 간 상관도는 대체로 높고 고주파 부분의 상관도는 그에 비해 낮다. 저주파 부분의 채널 간 상관도의 평균값과 분산 값을 바탕으로 저주파 부분의 채널 간 상관도 값보다 작은 값으로 ICC의 기준 값을 아래의 식과 같이 정한다.

$$ICC_{lb} < (1 - \text{mean}(ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{6} \rfloor} : ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{6} \rfloor} + ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{2} \rfloor})) \times 0.3 + d(ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{6} \rfloor} : ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{6} \rfloor} + ICC_{i \lfloor \frac{N_{tot}}{2} \rfloor}) \times 0.1 \quad (1)$$

Ntot는 전체밴드 수, [x]는 x보다 작은 가장 큰 정수, mean, d는 각각 평균과 분산 값을 의미한다. 낮은 주파수 대역의 ICC값을 평균한 값과 분산 값을 구하여 코딩 방법전환의 ICC 기준 값을 정한다. 위에서 구해진 ICC의 값보다 작을 경우 type I으로 코딩을 한다.

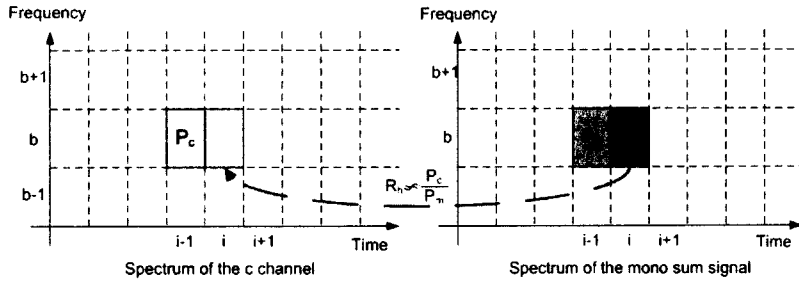
3.3. Spectrum 보상법

2장에서 언급했듯이 type I으로 코딩된 경우 인덱싱 되지 않은 채널의 밴드 스펙트럼이 비게 되어 음질의 열화가 생기는 문제가 발생하게 된다. 이 부분을 해결하기 위한 스펙트럼 보상과정이 필요하다. 일반적으로 오디오 신호는 시간에 따라 천천히 변화되는 성형이나 임펄스 성의 신호와 같이 갑자기 변화되는 신호로써

구분되거나 백색잡음성 신호로 구분된다. 예를 들어 종소리와 같이 시간적으로 지연 재생되는 신호가 있거나 드럼이나 북등과 같이 짧은 시간 구간에서 큰 에너지를 갖는 신호가 있다. 대개의 음향신호들이 이러한 기본 요소들로 분리 해석가능하다. 이를 바탕으로 시간 방향으로의 보상법과 임펄스성 신호에 대한 주파수 보상법을 사용하였다.

3.3.1 시간에 대한 보상법

짧은 시간 내에서는 신호가 천천히 변한다는 가정 하에 시간에 대한 보상법을 실시하였다. <그림 4>는 시간에 대한 보상법에 대해 보여주고 있다.



<그림 4> 정적 특성의 손실 신호에 대한 보상 개념

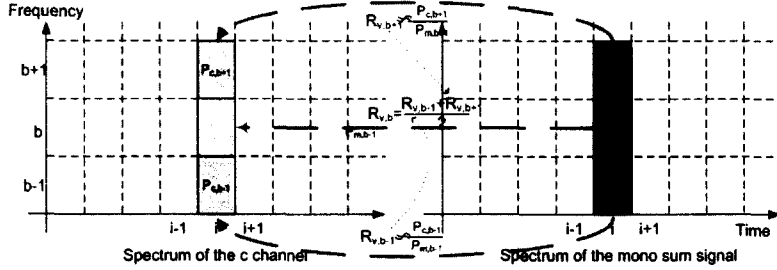
짧은 시간 내에서는 신호가 천천히 변한다는 가정 하에서 이전 (i-1)시간에서의 다운 믹스된 모노 합 신호와 각 채널 신호의 비는 현재 i시간에서의 에너지 비와 유사하기 때문에 식(2)와 같이 시간에 대한 보상비를 결정한다. 다시 말해 현재 보상하려는 채널에서 이전 프레임의 밴드 파워가 ($P_c(i-1, b)$) 이고 다운믹스 된 모노 신호의 이전 프레임의 밴드 파워를 ($P_m(i-1, b)$) 라 하면 시간 축으로의 보상 비율($R_h(i, b)$)은 식(2)와 같다. 여기서 신호의 세기가 시간이 지남에 따라 신호가 약해지는 현상을 나타내주기 위해 state를 두어서 $R_h(i, b)$ 에 반영한다. 이전 밴드의 에너지가 정해진 값보다 작으면 state의 값을 1씩 증가 시키고 그렇지 않을 경우 0으로 만들어준다.

$$R_h(i, b) = (0.99)^{state} \frac{P_c(i-1, b)}{P_m(i-1, b)} \tag{2}$$

3.3.2 주파수 영역에 대한 보상법

시간 영역으로의 보상 후 주파수 영역으로 보상을 한다. <그림 5>는 주파수 영

역에서의 보상을 나타낸다.



<그림 5> 임펄스성 손실 신호에 대한 보상

주파수 영역에서 보상하고자 하는 밴드의 이전 밴드와 다음 밴드의 다운믹스된 모노 합 신호와 채널 간 에너지 비를 계산한다. $R_v(i, b-1)$ 와 $R_v(i, b+1)$ 는 각각 이전 밴드의 에너지 비와 다음 밴드의 에너지 비를 나타낸다.

$$R_v(i, b-1) = \frac{P_c(i, b-1)}{P_m(i, b-1)}, \quad R_v(i, b+1) = \frac{P_c(i, b+1)}{P_m(i, b+1)} \quad (3)$$

이 두 밴드의 에너지 비를 평균한 값이 주파수 영역으로의 보상 비($R_v(i, b)$)가 된다.

$$R_v(i, b) = \frac{R_v(i, b-1) + R_v(i, b+1)}{2} \quad (4)$$

3.3.3 전체 보상법

앞에서 구해진 시간 축으로의 보상비($R_h(i, b)$)와 주파수 축으로의 보상비($R_v(i, b)$)를 평균한 값($R_t(i, b)$)이 최종적으로 다운 믹스된 모노 합 신호로부터 그 채널의 밴드 에너지비가 된다.

$$R_t(i, b) = \frac{R_h(i, b) + R_v(i, b)}{2} \quad (5)$$

그러나 이런 방법을 캐스터네츠 소리와 같은 임펄스성 신호에 적용했을 경우에 많은 오류를 가진다. 임펄스성 신호는 시간 영역으로는 작은 신호 값을 주파수

영역으로는 상대적으로 큰 신호 값을 가질 것인데 단순히 이 두 값을 평균하면 실제의 보상비보다 작아질 것이다. 따라서 식(6)과 같은 조건에 따라 전체 보상비 ($R_i(i, b)$)를 결정한다.

$$R_i(i, b) = \begin{cases} R_v(i, b) & , \text{ if } R_v(i, b) > 2R_h(i, b) \\ \frac{R_h(i, b) + R_v(i, b)}{2} & , \text{ if } R_v(i, b) \leq 2R_h(i, b) \end{cases} \quad (6)$$

앞에서 구한 스펙트럼의 에너지 비율을 모노 신호에 곱하여 최종적으로 빈 영역의 스펙트럼을 보상한다.

$$Y_{i,b}^c(k) = U_{i,b}(k) \times R_i(i, b) \quad k \in \{A_{b-1}, A_{b-1} + 1, \dots, A_b - 1\} \quad (7)$$

$Y_{i,b}^c$ 는 출력 채널 c 의 스펙트럼 계수이다. A_b 는 각 서브밴드의 경계이다.

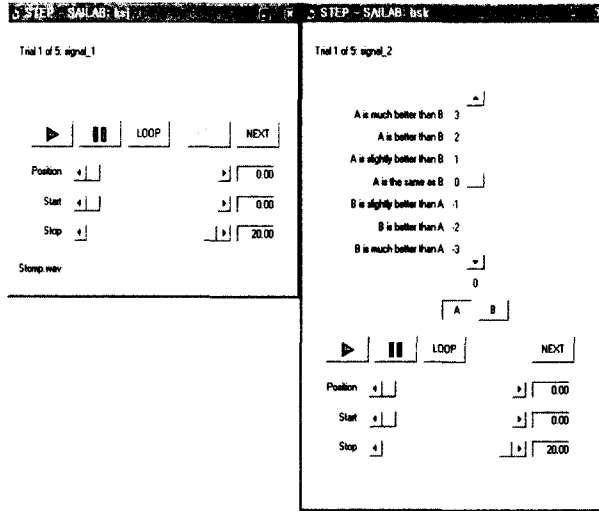
4. 실험 및 결과

4.1 실험

5가지(Fountain_music, Glock, Jackson1, Poulenc, Stomp)의 콘텐츠에 대해서 두 가지의 실험을 하였다. 5개의 콘텐츠는 MPEG-4 Audio 그룹에서 제공하는 콘텐츠로 타악기나 피아노 소리, 새소리, 물소리와 같은 다양한 소리들로 구성된 콘텐츠이다[9].

첫 번째 실험은 객관적 테스트 방법으로 각 디코딩된 신호와 원 신호와의 스펙트럼 거리측정을 수행한다. 이때 사용되는 거리측정법으로는 오디오 신호의 왜곡 특성을 잘 반영하는 Kullback Leiber distance를 채택하였다[10].

두 번째 실험은 BCC와 hybrid BCC 방법에 대한 10명의 선호도 테스트를 수행하였다. <그림 6>은 MOS 테스트를 수행하기 위한 청취자에게 제공되는 인터페이스이다. 왼쪽의 박스가 원 신호를 듣고 재생해 주는 부분이고 오른쪽 박스가 BCC와 Hybrid BCC방법으로 코딩된 콘텐츠를 랜덤하게 A와 B의 순서로 재생해 준다. 콘텐츠들은 테스트 참가자들이 듣고 싶은 만큼 버튼을 클릭함으로써 제한 없이 들을 수 있고 모두 들은 후 0(A is the same as B), 양의 값(1:A is slightly better than B, 2:A is better than B, 3:A is much better than B), 음의 값(-1:B is slightly better than A, -2:B is better than A, -3:B is much better than A)을 선택한다.



<그림 6> 선호도 MOS 측정을 위한 사용 인터페이스

4.2 실험결과

먼저 Hybrid BCC를 사용함으로써 얻게 되는 사이드 정보의 감소량을 <표 1>에
 서 보여준다. Hybrid rate는 전체 코딩에서 type I으로 코딩된 비율을 나타내고
 reduced info. number는 감소된 spatial cue의 개수를 보여준다. 괄호 안의 수는
 hybrid 방식으로 코딩된 밴드 수를 나타낸다.

<표 1> 감소된 정보량

	Hybrid rate(%)	Reduced info. number
Fountain_music	44.7	52803 (17601)
Glock	5.5	6141 (2047)
Jackson1	18.4	17637 (5879)
Poulenc	8.9	10544 (3518)
Stomp	25.8	30486 (10162)

컨텐츠의 채널 간 상관도에 따라 감소되는 정보량의 정도가 달라지지만 어느
 정도 상당량의 전송 정보 감소를 가져올 수 있는 것을 알 수 있다.

<표 2>에서 측정된 Kullback Leiber distance 결과를 보여주고 있다. 각 채널별로
 5가지 컨텐츠의 distance 합을 측정하였다.

<표 2> Kullback-Leibler distance according to compensation

	Hybrid BCC	Hybrid BCC without compensation
Left	75.1	162.8
Right	70.9	162.5
Center	67.5	155.1
Rear Left	69.0	142.1
Rear Right	68.9	140.5
Total	351.4	763.0

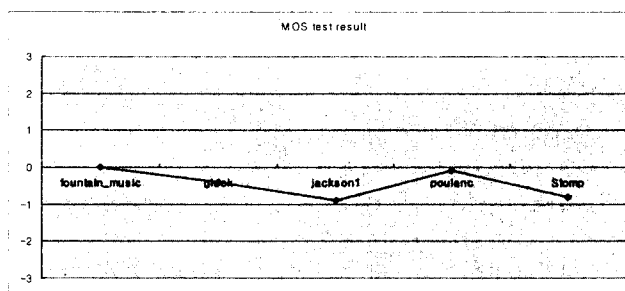
<표 2>에서 스펙트럼 보상법을 적용한 것과 적용하지 않은 것과의 비교를 통해서 스펙트럼 보상법이 많은 spectrum distortion의 향상을 가져온다는 것을 알 수 있다.

<표 3>은 코딩 방법 중 선호를 표한 테스트 참가자들의 수를 나타낸다.

<표 3> 콘텐츠에 따른 선호를 답한 테스트의 수

	BCC	Hybrid	Same
Fountain_music	2	2	6
Glock	5	1	4
Jackson1	8	1	1
Poulenc	4	3	3
Stomp	8	1	1

<그림 7>는 MOS 테스트 결과를 평균한 값이다. 0을 기준으로 양의 값은 Hybrid BCC로 코딩된 콘텐츠를 더 선호한다는 의미이고 음의 값은 BCC로 코딩된 콘텐츠를 더 선호한다는 의미이다.



<그림 7> MOS 선호도 조사 결과

<그림 7>의 결과를 통해 알 수 있듯이 테스트 참가자들은 전체적으로 BCC의 음질을 다소 좋게 평가하였으나 음질의 차이를 크게 인식하지는 못하였다. 다만 Jackson1과 Stomp의 콘텐츠에 대해서는 BCC코딩된 콘텐츠를 선호하였다. <표 4>

는 각 콘텐츠별 Kullback Leiber distance를 나타낸다.

<표 4> 콘텐츠별 Kullback-Leiber distance

	BCC	Hybrid BCC
Fountain_music	18.1	21.5
Glock	91.7	92.0
Jackson1	104.1	111.5
Poulenc	76.4	77.7
Stomp	45.9	48.8

테스트 결과가 다소 나빴던 Jackson1이나 Stomp의 경우 두 코딩 방법 간 distance 차이가 딴 콘텐츠보다 더 크게 나타났다. 스펙트럼 보상법이 이 두 가지 콘텐츠의 경우에는 적절한 보상법이 되지 못한 것으로 판단된다.

위의 결과에서 몇몇 콘텐츠에 대해서는 테스트 참가자들이 음질의 차이를 느꼈으나 그 차이가 크지 않았고 전체적으로 큰 음질의 차이는 없었다. 따라서 채널 상관성에 따른 코딩 전략을 달리 하는 방법을 통해 큰 음질의 저하 없이 전송되는 사이드 정보를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

멀티채널 오디오 코딩 방법에서 Binaural Cue Coding 방법은 큰 음질의 저하 없이 비트 율을 현저히 줄이는 데에 유용한 방법이다. 본 논문에서는 BCC 방법을 기반으로 채널 상관성에 따라 spatial cue의 종류를 달리하여 코딩함으로써 전송되는 사이드 정보의 비트 율을 줄이는 방법을 제안하였다. 그와 더불어 음질의 열화를 줄이기 위해 스펙트럼 보상법도 제안하였다. 실험의 결과에서 알 수 있듯이 채널 상관성에 따라 코딩 전략을 달리함으로써 큰 음질의 저하 없이 전송되는 사이드 정보의 비트 율을 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 그와 더불어 제안된 스펙트럼 보상법은 스펙트럼을 복구하는데 적절한 방법으로 판단되지만 몇몇 콘텐츠의 경우 크지는 않지만 음질의 차이를 느낄 수 있을 만큼의 열화가 있었다. 앞으로 이런 콘텐츠에 대해서도 적절한 보상법이 될 수 있도록 보완해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] J. D. Johnston and A. J. Ferreira, "Sum-difference stereo transform coding", in *Proc. of ICASSP*, pp. 569-572, 1992.
- [2] J. Herre, K. Brandenburg, and D. Lederer, "Intensity stereo coding", in *Proc. AES 96th Convention*, Feb. 1994.
- [3] C. Faller and F. Baumgarte, "Binaural Cue Coding - Part II: Schemes and Applications", *IEEE Trans. Speech and Audio Processing* vol. 11, no. 6, pp. 520-531, Nov. 2003.
- [4] C. Faller and F. Baumgarte, "Binaural Cue Coding applied to stereo and multi-channel audio compression", in *Preprint 112th Conv. Aud. Eng. Soc.*, May 2002.
- [5] C. Faller and F. Baumgarte, "Binaural Cue Coding applied to audio compression with flexible rendering", in *Proc. of AES 113th Conv.*, Los Angeles, Oct. 2002.
- [6] F. Baumgarte and C. Faller, "Audio Coder Enhancement using Scalable Binaural Cue Coding with Equalized Mixing", in *Proc. of AES 116th Conv.*, May, 2004.
- [7] B. R. Glasberg and B. C. J. Moore, "Derivation of auditory filter shapes from notched-noise data", *Hear. Res.*, vol. 47, pp.103-138, 1990.
- [8] F. Baumgarte and C. Faller, "Binaural cue coding-Part I: Psychoacoustic fundamentals and design principles, " *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, vol. 11, pp. 509-519, Nov. 2003.
- [9] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG), "Procedures for the evaluation of spatial audio coding systems", document N6691, Redmond, July 2004.
- [10] R. Veldhuis, and E. Klabbbers, "On the Computation of the Kullback-Leibler Measure for Spectral Distances", *IEEE Trans. of Speech and audio Processing*, vol. 11, pp. 100-103, Jan. 2003.

접수일자 : 2005년 2월 10일

게재결정 : 2005년 3월 15일

▶ 이병화(Byonghwa Lee)

주소: 305-714 대전광역시 유성구 문지동 103-6번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042)866-6283

E-mail: bhlee@icu.ac.kr

▶ 백승권(Seungkwon Beack)

주소: 305-714 대전광역시 유성구 문지동 103-6번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042)866-6296

E-mail: skbeack@icu.ac.kr

▶ 서정일(Jeongil Seo)

주소: 305-350 대전광역시 유성구 가정동 161번지 한국전자통신연구원

소속: 한국전자통신연구원(ETRI) 디지털방송연구단 3D미디어연구팀

전화: 042)860-1571

E-mail: seoji@etri.re.kr

▶ 한민수(Minsoo Hahn)

주소: 305-714 대전광역시 유성구 문지동 103-6번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042)866-6123

E-mail: mshahn@icu.ac.kr