

逆フィルタを用いた空間音響圧縮技術の拡がり感*

木村敏幸, 寛一彦(名大・人間情報/CIAIR), 武田一哉, 板倉文忠(名大・工/CIAIR)

1. はじめに

音場再現技術は今までの両耳制御の方式から多数のスピーカーを用いた多点制御の方式へと開発が移行しつつある。ところが、この方式を実現するには複数のチャンネルを伝送するので、伝送量がチャンネル数に比例して増加することになる。これらの信号を圧縮するには従来の符号化方式[1]では不十分であるので、従来ではあまり試みられていない空間上の圧縮を行う必要がある。

我々は今までに逆フィルタを用いた空間音響圧縮技術を提案してきた[2]。本報告では拡がり感に着目して、提案した手法が音場知覚に与える影響を検討する。

2. 空間音響圧縮技術の原理

2.1. 圧縮

Fig.1 に N 個の音源と M 個のチャンネルの系における圧縮システムのブロック図を示す($N < M$)。

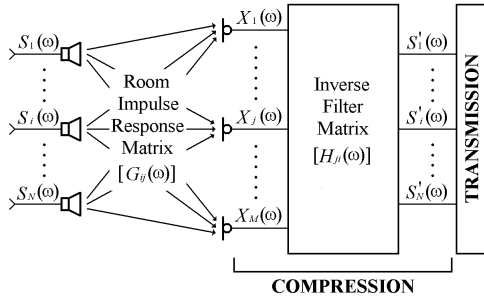


Fig.1 Block diagram of compression system

$S'_i(\omega)$ は i 番目の音源、 $X_j(\omega)$ は j 番目のチャンネル、 $G_{ij}(\omega)$ は i 番目の音源から j 番目のチャンネルへの室内伝達関数、 $H_{ji}(\omega)$ は j 番目のチャンネルから i 番目の音源への逆フィルタである。全てのチャンネルは音源に室内伝達関数行列 $\mathbf{G}=[G_{ij}(\omega)]:N \times M$ 次元複素行列を畳み込んだものなので、逆フィルタ行列 $\mathbf{H}=[H_{ji}(\omega)]:M \times N$ 次元複素行列をチャンネルに畳み込むことで圧縮が行われ、得られる i 番目の音源が $S'_i(\omega)$ である。

\mathbf{H} は既知の \mathbf{G} から算出される。 \mathbf{G} と \mathbf{H} には以下の関係が成り立つ。

$$\mathbf{GH}=\mathbf{D} \quad (1)$$

\mathbf{D} は単位行列に相当する($N \times N$ 次元複素対角行列)。 $N < M$ の場合、 \mathbf{H} の解は一意に定まらないが、本研究では Moore-Penrose 擬似逆行列を用いて \mathbf{H} を算出する[3]。

$$\mathbf{H}=\mathbf{G}^+\mathbf{D} \quad (2)$$

\mathbf{G}^+ は \mathbf{G} の Moore-Penrose 擬似逆行列である。

2.2. 復元

Fig.2 に復元システムのブロック図を示す。

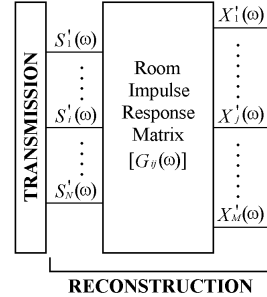


Fig.2 Block diagram of reconstruction system

\mathbf{G} は受信側でも既知とする。受信した音源 $S'_i(\omega)$ に \mathbf{G} を畳み込むと復元が行われ、得られた j 番目のチャンネルが $X'_j(\omega)$ になる。

3. 実験

3.1. 室内伝達関数の測定及び逆フィルタの作成

室内伝達関数の測定は名古屋大学工学部 7 号館 410 室の可変残響室内で行った。スピーカーとマイクロホンアレーの配置図を Fig.3 に示す。

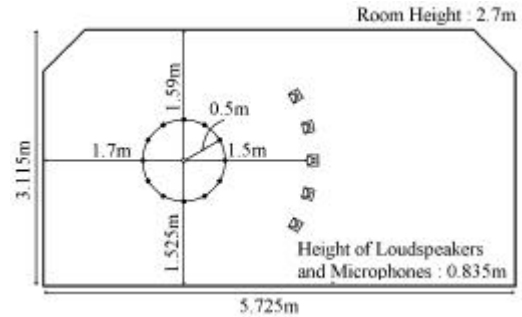


Fig.3 Position of loudspeakers and microphone array

半径 0.5m の円周上に方位角 30° 間隔に 12 個の無指向性マイクを配置し、マイクロホンアレーの中心から 1.5m の距離に $-30^\circ \sim 30^\circ$ の方向に 15° 間隔に無指向性スピーカーを配置した。サンプリング周波数を 48kHz にし、65536 点(=1.37sec)の TSP 信号を用いて同期加算を 8 回行って測定した。その他の測定条件を Table 1 に示す。音圧レベルはスピーカーから 1m 離れた地点での値である。

Table 1: Measurement conditions of RTF

Reverberation time	150ms	300ms
Room temperature	19.5°C	19.2°C
Noise level	20.0dB(A)	19.4dB(A)
Sound pressure level	90.0dB(A)	91.6dB(A)
FIR filter order	7200	14400

逆フィルタ \mathbf{H} は残響時間ごとに算出した。手順は以下の通りである。まず、測定した室内伝達関

*Spaciousness of spatial audio compression technique using inverse filters, By T. Kimura, K. Kakehi, K. Takeda and F. Itakura (Nagoya University)

数を FFT 変換し、 5×12 次元の G を得た。次に、(2) 式によって H を得た。このとき、 D には帯域が 200 ~ 20000Hz の FIR バンドパスフィルタを適用した。そして、得られた H を IFFT 変換し、頭から打ち切ることによって逆フィルタを得た。それぞれの条件を Table 2 に示す。

Table 2: Calculation conditions of inverse filter

Reverberation time	150ms	300ms
FFT points	16384	32768
Delay points of BPF	1800	3600
Truncated FIR points	7200	14400

3.2. マルチチャンネル音響信号の作成

音源信号には 5 秒間の白色雑音を採用した。白色雑音がある 1 つのスピーカーからだけ再生されている場合を想定し、信号を計 5 種類用意した。その際サンプリング周波数は 12kHz に設定した。ゆえに、残響時間は測定時の 4 倍になり、0.6sec と 1.2sec になる。

まず、先に用意した信号に G を畳み込み、非圧縮のチャンネル信号を作成した。次に、得られたチャンネル信号に H を畳み込み、更に G を畳み込むことによって圧縮したチャンネル信号を作成した。

4. 拡がり感の評価

4.1. 拡がり感と両耳間相関係数

拡がり感は音像が空間の広い領域に広がって知覚される現象のことである[4]。拡がり感は両耳間相関係数(IACC)と関連することが知られている[5]。IACC は以下の式で算出される。

$$IACC = \frac{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \sum_{n=-T}^T f_l(n) f_r(n - \tau_0)}{\sigma_l \sigma_r} \quad (3)$$

$$\sigma_l^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \sum_{n=-T}^T \{f_l(n)\}^2 \quad \sigma_r^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \sum_{n=-T}^T \{f_r(n)\}^2$$

$$\tau_0 = \arg \max_{\tau} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \sum_{n=-T}^T f_l(n) f_r(n - \tau) \right]$$

$f_l(n)$, $f_r(n)$ はそれぞれ左耳、右耳の音圧信号である。圧縮による IACC の変化を調べることで、圧縮による拡がり感への影響を検討できると考えられる。

4.2. 両耳間相関係数の算出

両耳間相関係数は再生音場上で頭部伝達関数(HRTF)を測定することによって算出した。Fig.4 にスピーカーとダミーヘッドの配置図を示す。

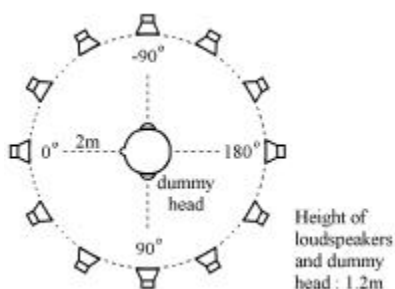


Fig.4 Position of loudspeakers and dummy head

暗騒音は 26.1dB(A)、音圧レベルは頭部位置で 86.3dB(A)だった。サンプリング周波数 48kHz、65536 点の TSP 信号を用いて同期加算を 8 回行って測定した。

以下のようにして IACC を算出した。まず、3.2. 節で得た非圧縮のチャンネル信号に 12kHz にダウンサンプリングした HRTF を畳み込み、両耳の音圧信号を得た。そして(3)式を用いて IACC を算出した。同様に、圧縮したチャンネル信号についても HRTF を畳み込み、IACC の算出を行った。

4.3. 両耳間相関係数の評価結果

白色雑音を呈示した方向における非圧縮及び圧縮条件ごとの IACC の値を Table 3 に示す。

Table 3: IACC in compression conditions (NC : Non-Compression, C : Compression)

Reverberation time	0.6sec		1.2sec	
	NC	C	NC	C
Azimuth=-30°	0.429	0.429	0.254	0.255
Azimuth=-15°	0.324	0.324	0.174	0.174
Azimuth=0°	0.214	0.213	0.282	0.282
Azimuth=15°	0.416	0.417	0.443	0.443
Azimuth=30°	0.495	0.494	0.323	0.322

全ての方向及び残響時間において、圧縮による IACC の変化はほとんど見られない。ゆえに、圧縮による拡がり感への影響はほとんどないと考えられる。

5. まとめ

我々が提案した空間音響圧縮技術の音場知覚への影響を拡がり感に着目して検討した。両耳間相関係数を算出し、客観量によって検討したところ、拡がり感に及ぼす影響は見られなかった。

今後の課題としては、主観的に評価することによって、音場知覚への影響を検討する必要がある。また、複数音源の場合や残響時間が更に長い場合のようなより実環境に近い条件での影響を検討する必要がある。

6. 参考文献

- [1] ISO/IEC 13818-7, "Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 7 Advanced Audio Coding"
- [2] 木村, 算, 武田, 板倉, "空間情報を利用したマルチチャンネル音響信号の符号化と音源定位," 音講論, 711-712 (2001.10)
- [3] J. Bauck and D. H. Cooper, "Generalized transaural stereo and applications," J. Audio Eng. Soc., **44**, no.9, pp.683-705, 1996
- [4] J. Blauert, 森本, 後藤, 空間音響 (鹿島出版会, 1986) p. 168
- [5] 安藤, コンサートホール音響学 (シュプリング・フェアラーク東京, 1987) p. 113