

根木教男 及川靖広 服部永雄 山崎芳男 (早大理工)

1. まえがき

あらゆる音響信号は正弦波だけでなく雑音などのベクトル線形結合で表すことができ、戸倉、東山によって音声信号のランダムベクトル表現¹⁾に関する研究がなされている。今回、一次独立な雑音によって信号を分析・合成することで音響信号を了解性のないあたかも暗号化されたような信号として表現した。また時間領域のみならず周波数領域での信号のランダムベクトル表現法とそれによって表した雑音の空間合成、空間的秘話性について検討をした。

2. 雑音による信号の線形結合表現

音響信号を雑音 $v_k(n)$ の線形結合で表すと、

$$f(n) = \sum_{k=1}^K a_k v_k(n) \quad (1)$$

となる。 $f(n)$ は原信号、 a_k は係数、 $v_k(n)$ は一次独立な雑音、 K は1フレームにおけるデータ点数である。式(1)を行列で表現すると、

$$\mathbf{f} = a_1 \mathbf{v}_1 + a_2 \mathbf{v}_2 + \dots + a_K \mathbf{v}_K \equiv \mathbf{V} \mathbf{a} \quad (2)$$

となる。ここで行列 \mathbf{V} の逆行列を \mathbf{V}^{-1} と表せば

$$\mathbf{V}^{-1} \mathbf{f} = \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V} \mathbf{a} \quad (3)$$

となり、係数ベクトル \mathbf{a} は

$$\mathbf{a} = \mathbf{V}^{-1} \mathbf{f} \quad (4)$$

と求められる。

3. 信号の雑音分割

(a) 時間領域での信号の分割

音響信号を雑音の線形結合として表現しそれを本数比0.5の雑音の組みに分割する。1kHzの正弦波を約6msの解析区間長で解析を行った場合の信号復元精度 SDR を図 - 1 に示す。抽出本数比が0.8以下ではSDRが低く、信号から内容を聞き分けることはできず、二つの信号に了解性は見られない。ここでいう SDR とは、

$$SDR = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=1}^N x^2(n)}{\sum_{n=1}^N (\bar{x}(n) - x(n))^2} \quad [dB] \quad (5)$$

と定義する。ここで $x(n)$ は原信号、 $\bar{x}(n)$ は復元信号、 N は信号長である。

しかし用意する雑音の選び方によって分割音のパワーが原信号にくらべて大幅に大きくなってしまい空間で合成するには都合が悪くなってしまふ。

(b) 周波数領域での信号の分割

原信号を $x(n)$ 、その分割音をそれぞれ $x_1(n)$ 、 $x_2(n)$ とする。 $X(k)$ 、 $X_1(k)$ 、 $X_2(k)$ はそれぞれのフーリエ変換とすると

$$x(n) = x_1(n) + x_2(n) \quad (6)$$

をフーリエ変換すると

$$X(k) = X_1(k) + X_2(k) \quad (7)$$

となり、時間領域の線形結合を周波数領域での線形結合として表現できることがわかる。また時間領域でそれぞれのベクトルが一次独立であれば周波数領域でも一次独立であり、その逆も成り立つ。このように時間領域での線形結合表現と周波数領域でのそれは等価である。フーリエ変換の実部と虚部をそれぞれ別々に雑音(ランダムベクトル)による線形結合表現をして分割する。このときの SDR の変化を図 - 2 に示す。図 - 1 と同様に抽出本数が少ない時は復元精度が非常に低くなっている。

4. 分割雑音の空間合成

図 - 3 のような4個のスピーカを用いたシステムで空間合成を試みた。(a) は受聴者の周りにスピーカを均等配置したシステムで(b) はトランスオーラルシステムを用いたものである。(a) のシステムでは受聴者の左右にある二つのスピーカから、分割された雑音そのまま出力される。(b) のシステムは前方のスピーカからの雑音と後方からの雑音が耳もとで合成されて信号として聞き取れる。(a) (b) とともに受聴者が決められた位置にいない場合は雑音が正確に合成されないので信号を正しく聞き取ることができない。つまり規定の位置以外では秘話性が保たれている。実験で使用した原信号を図 - 4

* Acoustic signal reproduction in a real field using random vectors synthesis. By Norio Neki, Yasuhiro Oikawa, Hisao Hattori and Yoshio Yamasaki (Waseda University).

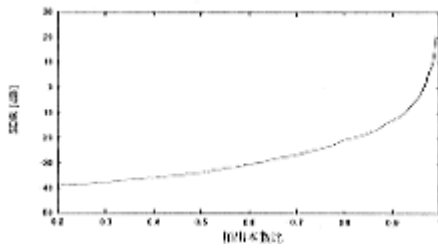


図 - 1 抽出本数比と SDR の関係 (時間領域)

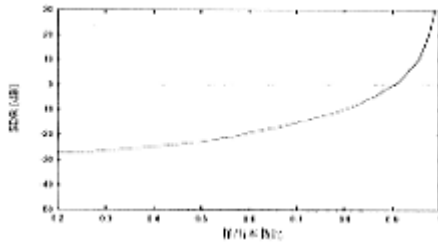


図 - 2 抽出本数比と SDR の関係 (周波数領域)

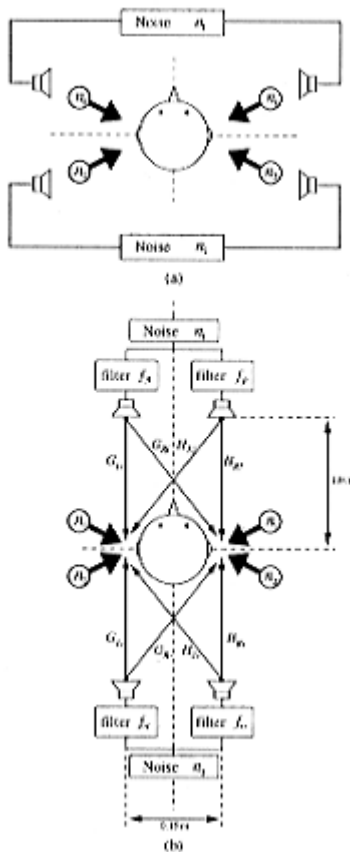


図 - 3 空間合成システム

に示す。またシステム(a)において規定の位置で記録した信号の波形を図 - 5 に、それ以外の位置で記録した信号の波形を図 - 6 に示す。

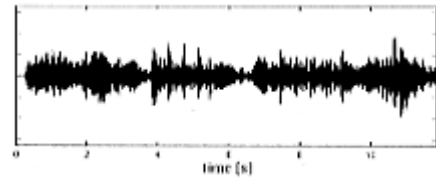


図 - 4 原信号波形 (バイオリン)

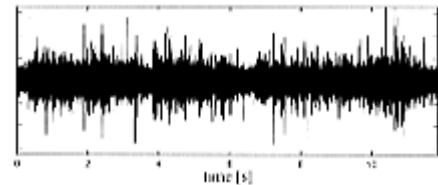


図 - 5 システム(a)の規定位置での記録波形

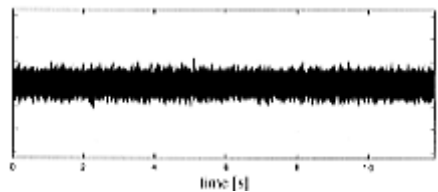


図 - 6 システム(a)の規定位置以外での記録波形

5. むすび

本稿では時間領域と周波数領域でのランダムベクトル表現の比較を行った。さらに二つのシステムを用いて雑音の空間合成とその比較も試みた。周波数領域で雑音分割を行うと時間領域と同様に SDR を小さくすることができるだけでなくパワーも原信号に比べてそれほど大きくならなかった。空間合成は(a) ,(b)ともに良好な結果が得られた。(b)のように複雑なシステムを構築しなくても(a)のような簡単なシステムで十分に空間合成が可能であることが比較により分かった。また両システムに共通することであるがノイズが激しくて聞き取りにくいことがしばしばあった。秘話性という点は良好な結果が得られたが、室内などの空間で試聴する場合はモードの影響で規定の場所以外でも聞き取れた。今後は多チャンネルの空間合成について検討をする。

[参考文献]

- 1) 戸倉 綾, 三浦 治, 東山三樹夫, "音声信号のランダムベクトル表現", 日講論集, pp497-498(1999.9).
- 2) 山崎芳男, 金田 豊, 大賀寿朗, "音響システムとデジタル処理", 電子情報通信学会, (1996.03).
- 3) 森下 巖, 小畑秀文, "信号処理", 計測自動制御学会.