

音声劣化を許容した GSC と AMNOR との関係の検討

森 一馬 金田 豊

東京電機大学大学院工学研究科 〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番

E-mail: {12kmc33@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp

あらまし 適応形マイクロホンアレーの一つである一般化サイドローブキャンセラ GSC (Generalized Sidelobe Canceller) は、理論的には目的音を全く劣化させない条件の下で雑音を抑圧するシステムであり、既存の適応形マイクロホンアレーの中では演算コストが低いという利点があるため広く用いられているが、雑音抑圧性能が低いという欠点がある。それに対して、適応形雑音抑圧マイクロホンアレー AMNOR (Adaptive Microphone array for Noise Reduction) は、目的音の劣化を少し許容することで雑音抑圧性能を大きくできる。近年、GSC においても音声劣化を許容することで雑音抑圧性能を大きくする試みが行われており、その一例として SP-SDR-MWF (Spatially Pre-processed Speech Distortion Regularized Multichannel Wiener Filter) がある。この二手法はどちらも目的音の劣化を許容して雑音抑圧性能を大きくする手法だが、これらの関係性は明らかになっていない。本報告ではこれらの関係性を理論的に検討し、その結果を実験で確かめた。検討の結果、両者は理想条件においては同一の特性を持つことがわかった。

キーワード GSC, AMNOR, SP-SDR-MWF, 目的音の劣化, 雑音抑圧

Study of the relationship between GSC that allowing speech degradation and AMNOR

Kazuma MORI and Yutaka KANEDA

Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University, 5 Senju-asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo 120-8551, Japan

E-mail: {12kmc33@ms, kaneda@c}.dendai.ac.jp

Abstract The GSC (generalized sidelobe canceller), which is an adaptive microphone array, reduces noise under a condition where the target sound is not degraded theoretically. Although the GSC is widely used because of its low computational cost, its noise reduction performance is low. In contrast, the AMNOR (adaptive microphone array for noise reduction) achieves high noise reduction performance by allowing a small amount of degradation of the target sound. Recently, attempts to increase the noise reduction performance of the GSC by allowing the degradation of the target sound have been made, among which the SP-SDR-MWF (spatially pre-processed speech distortion regularized multichannel Wiener filter) is representative example. Although the AMNOR and SP-SDR-MWF are both techniques for increasing the noise reduction performance while allowing the degradation of the target sound, the relationship between them has not yet been clarified. Here, we report a theoretical study of the relationship between these techniques. We then report experiments that were conducted to confirm the theoretical results. It is shown that these techniques achieve similar noise reduction performance when the same amount of degradation is allowed.

Keyword GSC, AMNOR, SP-SDR-MWF, degradation of target sound, noise reduction

1. はじめに

マイクロホンで音声などを受信しようとするとき、その場所に存在する不要な音まで受信してしまう。このような問題を解決する技術として、適応形マイクロホンアレーは小規模で、雑音抑圧効果も大きいという利点がある [1]。

適応形マイクロホンアレーは、その使用環境に適応させて、ある拘束条件の下で雑音を最小化するフィルタを作成する。拘束条件は、目的音を全く劣化させな

いというものと、目的音の劣化を許容するというものがある。前者で代表的なシステムとしては、Frost 型ビームフォーマ [2] や一般化サイドローブキャンセラ GSC (Generalized Sidelobe Canceller) [3] がある。GSC は、他の適応形マイクロホンアレーに比べて処理が簡単であり、また、フィルタの数が少なく済むので演算コストが低いという利点がある。

一方、後者の代表的なシステムとしては、適応形雑音抑圧マイクロホンアレー AMNOR (Adaptive

Microphone array for Noise Reduction)[4]がある．AMNOR では目的音の劣化を許容する代わりに雑音を大きく抑圧することができ，SNR が優れたものとなっている．また，近年 GSC に対しても目的音の劣化を許容することで大きな雑音抑圧量を得る試みがなされており，その一つとして，SP-SDR-MWF (Spatially Pre-processed Speech Distortion Regularized Multichannel Wiener Filter)[5]が提案されている．

本稿では，まず目的音の劣化を許容する二つの方法，AMNOR と SP-SDR-MWF を理論的に比較する．その後，それを実環境で比較し，理論検討の妥当性を示す．

2. 適応形マイクロホンアレー

2.1. GSC

図 1 に GSC の原理図を示す．GSC は，M 素子のマイクロホンと固定ビームフォーマ，目的音除去部(ブロッキング部)，および目的音除去後に接続された雑音抑圧フィルタから構成される．GSC において，各マイクロホン出力 $u_1 \sim u_M$ に含まれる目的音は同振幅，同位相であると仮定される(例えば図 1 の左から到来する場合など．そうでない場合は遅延を用いて調整する)．

固定ビームフォーマでは，図 2 に示すように各マイクロホンの出力を加算平均する．この時，目的音は同位相であるので加算平均により強調される．一方，ブロッキング部では，図 3 に示すように隣り合うマイクロホン出力が減算される．この時，同位相同振幅の目的音は消去され，図 1 の $y_{n,1} \sim y_{n,M-1}$ は雑音のみを含んだ信号となる．この雑音信号をフィルタ $h_i (i = 1, 2, \dots, M-1)$ に通して，目的音と雑音が含まれている図 1 の信号 y_0 から引くことにより，目的音を劣化させずに雑音を抑圧した出力が得られる．

出力に含まれる雑音成分を最小化する GSC のフィルタ係数ベクトル \mathbf{h} は次式で求められる．

$$\mathbf{h} = \mathbf{R}_N^{-1} \overline{\mathbf{n} \mathbf{n}_1^T} \quad (1)$$

ただし，

$$\mathbf{R}_N = E[\mathbf{n} \cdot \mathbf{n}^T]$$

$$\mathbf{n} = [y_{n,1}, y_{n,2}, y_{n,M-1}]^T$$

$$y_{n,i} = [y_{n,i}[n], y_{n,i}[n-1], \dots, y_{n,i}[n-L+1]]$$

L : フィルタタップ数， \cdot^T : 転置， $E[\cdot]$: 期待値

2.2. AMNOR

図 4 に AMNOR の原理図を示す．AMNOR は，M 素子のマイクロホンと，各チャンネルに接続された雑音抑圧フィルタ，およびフィルタ係数演算部から構成される．受信された信号 $u_i (i = 1, 2, \dots, M)$ は各フィルタ h_i を通

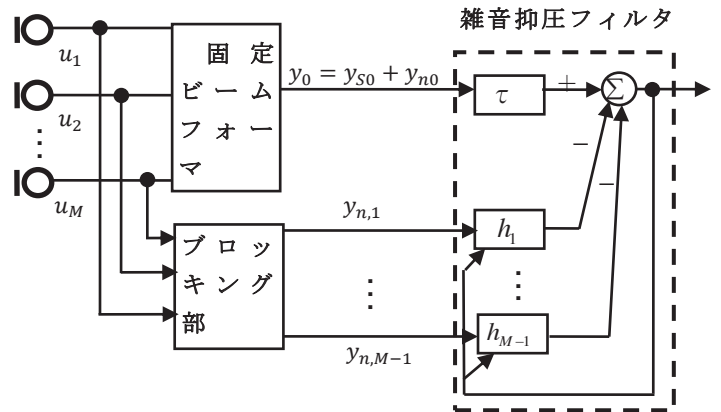


Fig. 1 GSC の原理図

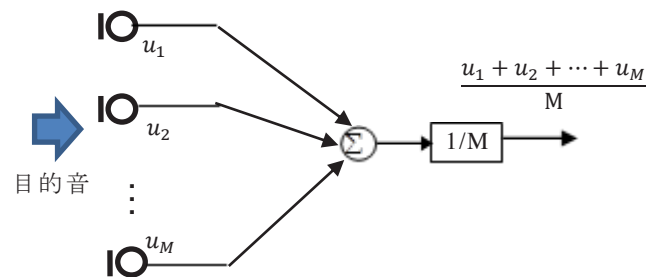


Fig. 2 固定ビームフォーマ

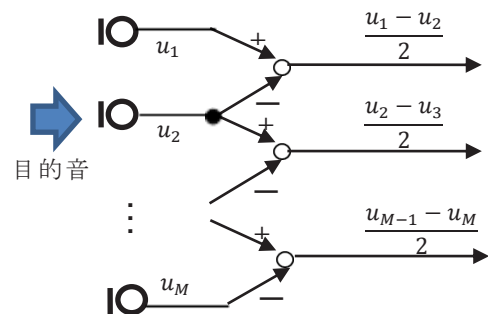


Fig. 3 ブロッキング部

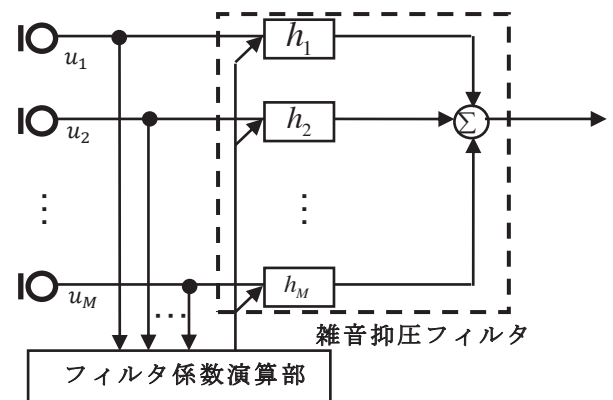


Fig. 4 AMNOR の原理図

した後、総和を取って出力を得る。

AMNOR のフィルタ係数ベクトル \mathbf{h} は次式で与えられる [6].

$$\mathbf{h} = (\lambda^2 \mathbf{R}_S + \mathbf{R}_N)^{-1} \lambda^2 \mathbf{S}_X \quad (2)$$

ただし、 \mathbf{R}_S は事前に学習する目的音方向の受音信号 (もしくは受音をシミュレートした信号) の相関行列、 \mathbf{R}_N は事前に学習する雑音の相関行列、 \mathbf{S}_X は目的音の相関ベクトルで \mathbf{R}_S の一つの列ベクトル、 λ は目的音の劣化量を制御するためのパラメータである。AMNOR は目的音の劣化許容量 $D (= 1 - 2\mathbf{h}\mathbf{S}_X + \mathbf{h}^T \mathbf{R}_S \mathbf{h})$ という拘束条件下で雑音を最小化するフィルタを形成する。

2.3. SP-SDR-MWF

図 5 に SP-SDR-MWF の原理図を示す。図 1 のブロック図と比べてみると、SP-SDR-MWF では、GSC の固定ビームフォーマの出力 y_0 をフィルタ h_0 に通した後、 y_0 から減算する部分が付加されている。この部分が付加されることで、GSC とは異なって目的音に劣化が発生するがその反面、GSC より大きな雑音抑圧量が得られる。

SP-SDR-MWF のフィルタ係数ベクトル \mathbf{h} は次式で求められる。

$$\mathbf{h} = \left(\frac{1}{\mu} \mathbf{R}_S' + \mathbf{R}_N' \right)^{-1} \mathbf{N}_X \quad (3)$$

ただし、 \mathbf{R}_N' は事前に学習する雑音 $y_{ni} (i = 0, 1, \dots, M-1)$ の相関行列である。また、 \mathbf{R}_S' は目的音 $y_{si} (i = 0, 1, \dots, M-1)$ の相関行列で、実際には雑音の定常性を仮定して、受音信号の相関行列から雑音の相関行列を差引くことで推定する。 \mathbf{N}_X は雑音ベクトルと固定ビームフォーマの雑音出力 y_{n0} との相関ベクトル、 μ は目的音の劣化量を制御するパラメータである。

SP-SDR-MWF は、パラメータ μ の値を変えることにより、AMNOR 同様目的音の劣化を許容し、雑音抑圧効果を高めることができる。

3. AMNOR と SP-SDR-MWF の理論検討

AMNOR と SP-SDR-MWF の関係性を調べるために、両者のフィルタ係数や出力を周波数領域で理論的に検討した。検討条件は図 6 に示すように 2 素子アレーで、目的音はアレーの軸に対して垂直な方向から到来し、各マイクロホンで同一信号 $U_S(\omega)$ として受音されるものと仮定する、各マイクロホンで受音される雑音はそれぞれ $U_{N1}(\omega)$ 、 $U_{N2}(\omega)$ とした。

3.1. AMNOR の理論検討

AMNOR のフィルタ係数計算で使われる目的音成分の相関行列 $\mathbf{R}_S(\omega)$ 、雑音の相関行列 $\mathbf{R}_N(\omega)$ 、目的音の相関ベクトル $\mathbf{S}_X(\omega)$ は次式のように計算される。ただし、

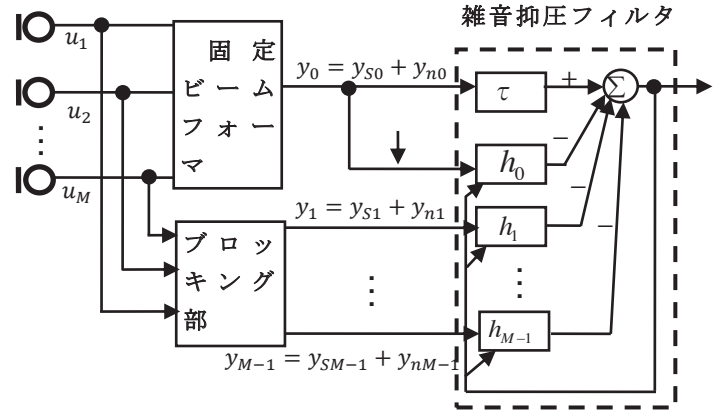


Fig. 5 SP-SDR-MWF の原理図

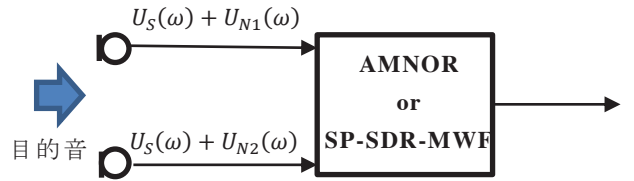


Fig. 6 理論検討モデル

以降の計算式の中では簡単のために周波数変数 (ω) は省略する。

$$\mathbf{R}_S = E \left[\begin{pmatrix} U_S \\ U_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_S^* & U_S^* \end{pmatrix} \right] = P_S \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{R}_N = E \left[\begin{pmatrix} U_{N1} \\ U_{N2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_{N1}^* & U_{N2}^* \end{pmatrix} \right] = \begin{pmatrix} P_N & \Phi_N \\ \Phi_N^* & P_N \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{S}_X = P_S \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

ただし、 \cdot^* は複素共役を表し、

$$P_S = E [U_S U_S^*]$$

$$P_N = E [U_{N1} U_{N1}^*] = E [U_{N2} U_{N2}^*]$$

$$\Phi_N = E [U_{N1} U_{N2}^*]$$

これを用いて、AMNOR のフィルタ (図 4 に示した h_1, h_2) の周波数特性 $\mathbf{H}(\omega)$ は次式で表せる。

$$\begin{aligned} \mathbf{H} &= (\lambda^2 \mathbf{R}_S + \mathbf{R}_N)^{-1} \lambda^2 \mathbf{S}_X \\ &= \frac{1}{(2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \frac{P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*}{\lambda^2 P_S}} \begin{pmatrix} P_N - \Phi_N \\ P_N - \Phi_N^* \end{pmatrix} \quad (7) \end{aligned}$$

よって、目的音と雑音の出力パワー $P_{Sout}(\omega)$ 、 $P_{Nout}(\omega)$ は以下ようになる。

$$P_{Sout} = \mathbf{H}^H \mathbf{R}_S \mathbf{H} = \frac{P_S (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))^2}{\left((2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \frac{P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*}{\lambda^2 P_S} \right)^2} \quad (8)$$

$$P_{Nout} = \mathbf{H}^H \mathbf{R}_N \mathbf{H} = \frac{(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*) (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))}{\left((2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \frac{P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*}{\lambda^2 P_S} \right)^2} \quad (9)$$

ただし、 \cdot^H は共役転置を表す。

式(8), (9)において、 λ が十分に大きい場合の目的音と雑音の出力パワーをそれぞれ P_{Sout0} , P_{Nout0} と表すと、

$$P_{Sout0} = \frac{P_S (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))^2}{(2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))^2} = P_S \quad (10)$$

$$P_{Nout0} = \frac{(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*)}{(2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))} \quad (11)$$

となり、目的音のパワーは変化しない(=劣化しない)ことがわかる。

さて、式(8)(9)より周波数ごとの SN 比、 $SNR(\omega)$ は、

$$SNR = \frac{P_{Sout}}{P_{Nout}} = \frac{P_S (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))}{(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*)} \quad (12)$$

となっている。そして、 λ が十分に小さい場合の目的音出力パワーは、

$$P_{Sout1} = \lambda^4 \left\{ \frac{P_S^2 (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))^2}{(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*)^2} \right\} P_S = \lambda^4 SNR^2 P_S \quad (13)$$

となり、また雑音の出力パワーは、

$$P_{Nout1} = \lambda^4 \left\{ \frac{P_S^2 (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))}{P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*} \right\} = \lambda^4 SNR^2 P_{Nout0} \quad (14)$$

となる。このことより、 λ が小の場合には SN 比によって各周波数成分の振幅が重みづけられるウィナーフィルタのような動作によって SN 比の改善が行われていることがわかる。しかし、この動作によって、低 SNR の帯域の目的音成分は低下するため、目的音は劣化する。このように AMNOR は、 λ の大小により、目的音の劣化と雑音の抑圧量のトレードオフ関係を制御する。

3.2. SP-SDR-MWF の理論検討

SP-SDR-MWF のフィルタ係数計算で使われる目的音成分の相関行列 $\mathbf{R}'_S(\omega)$ 、雑音の相関行列 $\mathbf{R}'_N(\omega)$ 、雑

音のベクトル $\mathbf{N}_X(\omega)$ は次式のように計算される。

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_S &= E \left[\begin{pmatrix} Y_{S0} \\ Y_{S1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{S0}^* & Y_{S1}^* \end{pmatrix} \right] \\ &= E \left[\begin{pmatrix} \frac{U_S + U_S}{2} \\ \frac{U_S - U_S}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{U_S^* + U_S^*}{2} & \frac{U_S^* - U_S^*}{2} \end{pmatrix} \right] \\ &= P_S \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{R}'_N &= E \left[\begin{pmatrix} Y_{N0} \\ Y_{N1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{N0}^* & Y_{N1}^* \end{pmatrix} \right] \\ &= E \left[\begin{pmatrix} \frac{U_{N1} + U_{N2}}{2} \\ \frac{U_{N1} - U_{N2}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{U_{N1}^* + U_{N2}^*}{2} & \frac{U_{N1}^* - U_{N2}^*}{2} \end{pmatrix} \right] \\ &= \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 2P_N + (\Phi_N + \Phi_N^*) & -\Phi_N + \Phi_N^* \\ \Phi_N - \Phi_N^* & 2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{N}_X &= E \left[\begin{pmatrix} Y_{N0} \\ Y_{N1} \end{pmatrix} Y_{N0}^* \right] = E \left[\begin{pmatrix} \frac{U_{N1} + U_{N2}}{2} \\ \frac{U_{N1} - U_{N2}}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{U_{N1}^* + U_{N2}^*}{2} \end{pmatrix} \right] \\ &= \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 2P_N + (\Phi_N + \Phi_N^*) \\ \Phi_N - \Phi_N^* \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (17)$$

これより、SP-SDR-MWF のフィルタ (図 5 に示した h_0 , h_1) の周波数特性 $\mathbf{H}'(\omega)$ は次式で表せる。

$$\begin{aligned} \mathbf{H}' &= \left(\frac{1}{\mu} \mathbf{R}'_S + \mathbf{R}'_N \right)^{-1} \mathbf{N}_X \\ &= \frac{(\mu/P_S)}{(2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \mu \frac{P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*}{P_S}} \begin{pmatrix} P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^* \\ P_S/\mu(\Phi_N - \Phi_N^*) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (18)$$

よって、目的音と雑音の出力パワー $P'_{Sout}(\omega)$, $P'_{Nout}(\omega)$ は以下ようになる。

$$\begin{aligned} P'_{Sout}(\omega) &= \left((U_S - H_0^* U_S - H_1^* (U_S - U_S))^2 \right) \\ &= \frac{P_S (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))^2}{\left((2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \frac{\mu(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*)}{P_S} \right)^2} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} P'_{Nout} &= \left((U_{N1} - H_0^* U_{N1} - H_1^* (U_{N1} - U_{N2}))^2 \right) \\ &= \frac{(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*) (2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*))}{\left((2P_N - (\Phi_N + \Phi_N^*)) + \frac{\mu(P_N^2 - \Phi_N \Phi_N^*)}{P_S} \right)^2} \end{aligned} \quad (20)$$

ただし、 H_0 , H_1 は \mathbf{H}' の第 1, 第 2 要素である。

この結果より、 $\lambda^2 = 1/\mu$ とおくと式(8)と式(19)、式(9)と式(20)は一致することがわかり、これより、AMNOR と SR-SDR-MWF は、目的音と雑音に対する特

性が同一のものであることがわかる。従って、3.1 項で述べた、AMNOR の λ が大の時目的音が劣化せず、 λ が小になると目的音の劣化を許容して雑音を抑圧するウィナーフィルタのようなトレードオフ関係の動作は、 $1/\mu$ を変化させた場合の SP-SDR-MWF も同一のものとなる。

4. 理論結果の検証

この章では、3 章で求めた AMNOR と SP-SDR-MWF が同一の特性を持つという理論的結果を実験的に検証する。実験は残響時間 0.4 秒の室内で図 7 のように 2 素子アレー、サンプリング周波数は 8000Hz、マイクロホン間隔 4cm、フィルタタップ数 64 で行った。目的音源および雑音源としてはスピーカを用い、それぞれアレー軸に対して垂直方向 50cm、平行方向 50cm の位置に配置した。音源信号としてはそれぞれ異なる白色雑音を用いた。

実環境ではマイクロホン感度の不一致や反射音の影響などにより、図 3 に示したブロッキング部では、目的音を十分に除去できない場合も存在する。しかし、ここでは理論検討との対応を得るために理想条件、すなわち式(3)の R'_s の y_{50} 同士の相関以外の成分は 0 であるものとして計算を行った。実験では、AMNOR および SP-SDR-MWF のそれぞれの制御パラメータ λ^2 および $1/\mu$ の大きさを変化させることで、目的音の劣化量と雑音抑圧量の制御を行った。

図 8(a)(b) は制御パラメータを $\lambda^2 = 1/\mu = 10^{10}$ と大きくした場合の目的音および雑音の出力スペクトルを示す。受信信号は白色雑音であるので、この図は目的音および雑音に対する周波数応答を表している。図 8(a) より、AMNOR では目的音に対する応答はほぼ平坦で劣化していないが、低周波帯域の雑音はほとんど抑圧されていないという特性が得られている。また、図 8(b) に示した SP-SDR-MWF においてもほぼ同様の結果が得られていることがわかる。

次に、制御パラメータを $\lambda^2 = 1/\mu = 10^2$ と少し小さく

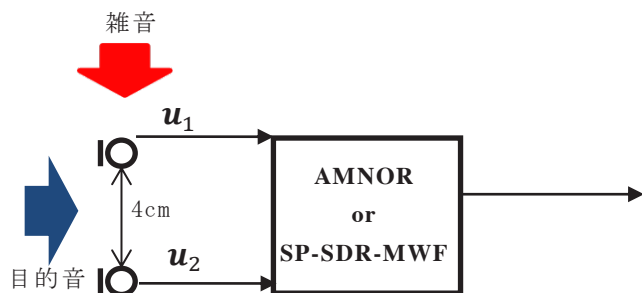
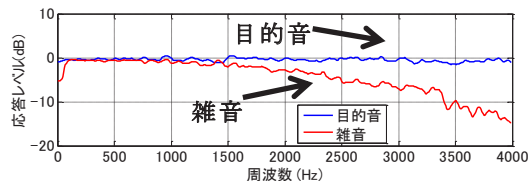
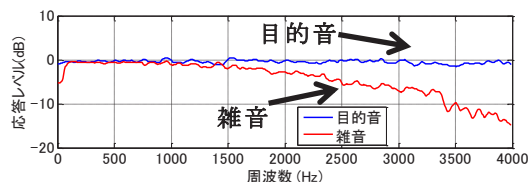


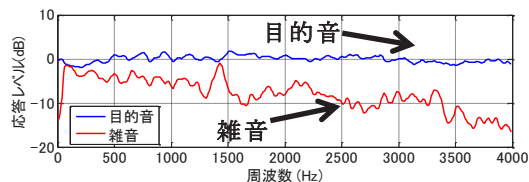
Fig. 7 実験条件



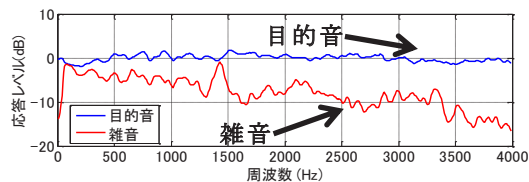
(a) 目的音が劣化していない場合の AMNOR ($\lambda^2 = 10^{10}$)



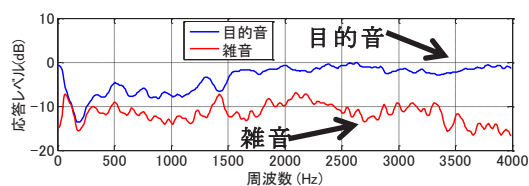
(b) 目的音が劣化していない場合の SP-SDR-MWF ($1/\mu = 10^{-10}$)



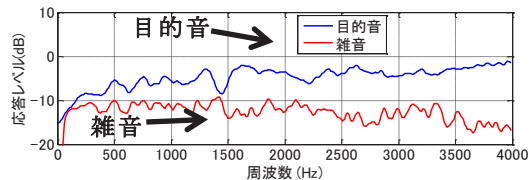
(c) 目的音が劣化している場合の AMNOR ($\lambda^2 = 10^2$)



(d) 目的音が劣化している場合の SP-SDR-MWF ($1/\mu = 10^2$)



(e) 目的音が大きく劣化している場合の AMNOR ($\lambda^2 = 10^{-0.4}$)



(f) 目的音が大きく劣化している場合の SP-SDR-MWF ($1/\mu = 10^{-0.4}$)

Fig. 8 AMNOR と SP-SDR-MWF の目的音と雑音に対する周波数応答

して目的音が少し劣化する場合の特性を調べてみた。AMNORの結果を図8(c)に、SP-SDR-MWFの結果を図8(d)に示した。低周波帯域で目的音が少し劣化している反面、雑音成分が低下した特性は、AMNORとSP-SDR-MWFにおいてほぼ同様である。

図8(e)(f)は、制御パラメータを $\lambda^2 = 1/\mu = 10^{-0.4}$ と小さくした場合の結果である。AMNORの結果を図8(e)に、SP-SDR-MWFの結果を図8(f)に示した。AMNORおよびSP-SDR-MWFともに目的音の劣化が大きくなっているが、雑音は全体域にわたってほぼ10dB以上低下している。図8の(e)と(f)を比較すると、(a)(b)および(c)(d)と違いAMNORとSP-SDR-MWFの特性は若干異なっている。特に低周波帯域では差が大きく、SP-SDR-MWFでは目的音、雑音に対する応答が低下している。

以上の結果から、前章の理論検討結果のように、両手法の特性はほぼ一致することがわかった。(e)(f)の低域部の違いについては、フィルタ計算の際にはブロッキング部の動作を理想条件と仮定したが、実環境における周波数応答測定の際には、ブロッキング部から目的音の漏れが発生していたことが原因ではないかと考えられる。

5. おわりに

本稿では、まず2マイクロホン系におけるAMNORとSP-SDR-MWFの目的音に対する応答および雑音に対する応答を理論的に比較した。その結果、以下のことがわかった。

1)AMNORは制御パラメータ λ^2 が大きい場合は目的音が劣化しない範囲で雑音が抑圧される。一方、制御パラメータ λ^2 が小さい場合には各周波数成分のSN比によって振幅が重みづけられるウィナーフィルタのような動作によってSN比の改善が行われる。その結果、低SNRの帯域の目的音成分は低下するため、目的音は劣化するが、より大きな雑音抑圧量が得られる。

2)ブロッキング部が理想的に動作している条件下で、SP-SDR-MWFの目的音、雑音に対する特性はAMNORと同一のものとなる。また、制御パラメータ $1/\mu$ もAMNORの制御パラメータ λ^2 と数値的に同等の働きをして目的音劣化量と雑音抑圧量とのトレードオフ関係をコントロールする。

これらの結果を踏まえ、実環境実験において各手法の目的音が劣化しない場合、目的音が劣化している場合において比較を行った。その結果、両者のそれぞれの場合において、ほぼ同等の特性が得られ、理論検討結果の妥当性が確認された。

今後の課題として、SP-SDR-MWFのブロッキング部が機能していない場合においてどのような影響が出る

かを理論的に説明することを目標とする、

謝 辞

本研究を進めるにあたって、日立製作所の戸上真人さんに文献を紹介して頂き、有用なアドバイスを頂いたことを深く感謝いたします。

文 献

- [1] 浅野太, 音のアレー信号処理, 日本音響学会(編), pp.90-95, (社)コロナ社, 東京, 2011.
- [2] O. L. FROST, An Algorithm for Linearly Constrained Adaptive Array Processing, Proc.IEEE, vol.60, no.8, pp. 926-935, Aug. 1972.
- [3] L. J. Griffiths and C.W. Jim, An Alternative Approach to Linearly Constrained Adaptive Beamforming, IEEE Trans.ASSP, vol.AP-30, no.1, pp.284-290, Jan. 1982.
- [4] Y. Kaneda and J. Ohga, Adaptive Microphone-Array System for Noise Reduction, IEEE Trans.ASSP, vol.ASSP-34, no.6, pp. 1391-1400, Dec. 1986.
- [5] A. Spriet *et. al.*, Signal Processing, 84, 12, pp. 2367-2387, December 2004.
- [6] 一之瀬, 片岡, 適応型雑音抑圧マイクロホンアレー, NTTR&D, vol.38, no.10, pp.1153-1162, 1989.