

(410) 情報 その他

FPGA を用いた広帯域アクティブノイズコントロール

Broadband Active Noise Control with FPGA

佐藤 慎太郎[†] 石光 俊介[†] 油木 悠^{††} 木村 隆志^{†††} 黒川 航平^{††††}
Shintaro Sato[†] Shunsuke Ishimitu[†] Yu Aburagi^{††} Takashi Kimura^{†††} Kohei Kurokawa^{††††}
[†]広島市立大学 情報科学研究科 ^{††}広島市立大学 情報科学部
^{†††}リョービ MHI グラフィックテクノロジー株式会社 ^{††††}栄工社

1 緒言

工場内には多くの騒音が存在する。騒音による深刻な影響として騒音性難聴が知られている。いまだ多くの人が騒音性難聴は発症しているため、厚生労働省は平成 4 年に騒音障害防止対策の強化を行った[1]。そのため 85dB 以上の騒音がある作業場は騒音対策を行うことが求められた。騒音対策には耳栓や防音材などの Passive Noise Control (PNC) と、波の重ね合わせの原理を用いた Active Noise Control (ANC) の 2 つの騒音制御法がある。PNC は高周波数の音には効果があるが、低周波数の音には効果が低い。相対的に ANC は低周波数の音には効果があるが、高周波数の音には効果が低い。効果帯域が異なる PNC と ANC を組み合わせて騒音制御をすることが理想ではあるが、コストが高くなってしまう。

そこで、本研究では ANC の制御帯域を拡大する検討を行う。これにより、従来では PNC と ANC を組み合わせなければできなかった広帯域騒音制御を ANC のみで行うことが期待できる。今回は工場内騒音の 1 つとして、85dB 以上の騒音が起きている大型の産業用印刷機稼働音を対象に広帯域騒音制御の可能性を探った。

2 制御アルゴリズム

ANC に使用される最も一般的なアルゴリズムは LMS (Least Mean Square) の修正版である FxLMS (filtered-x Least Mean Square) アルゴリズムである。通常の LMS アルゴリズムでは二次経路 (制御スピーカと所要マイクロフォン間の伝達関数) を考慮しないため、正確な制御信号を生成することができない。しかし、FxLMS アルゴリズムでは二次経路を考慮に入れているので、今回の検討では FxLMS アルゴリズムを採用した。FxLMS アルゴリズムによるフィードフォワード型 ANC の構成を図 1 に示す。フィードフォワード型は参照信号として騒音を入力する参照信号マイクロフォン、制御点における騒音の低減効果を観測する誤差信号マイクロフォン、制御点に向けて制御信号を発生する制御スピーカにより構成されている。フィードフォワード型では参照信号と所要信号 (制御点に届く騒音) の相関が高いほど大きな低減効果を出すことができる。

また、FxLMS アルゴリズムによるフィードバック型

ANC の構成を図 2 に示す。フィードバック型は基本的にはフィードフォワード型と同じだが、参照信号マイクロフォンを必要としないため、システムをコンパクトにすることができる。この時、誤差信号マイクロフォンで観測される信号全てが入力となるため、制御対象の騒音以外の外乱に対しても制御が可能である。

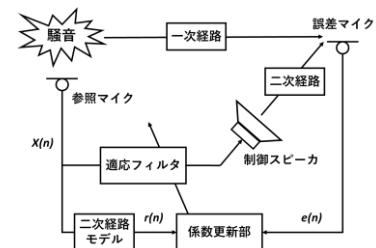


図 1: FxLMS アルゴリズムによるフィードフォワード型 ANC

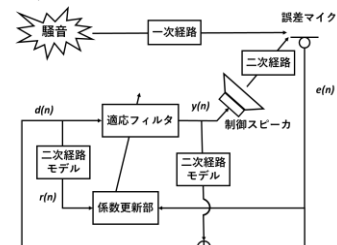


図 2: FxLMS アルゴリズムによるフィードバック型 ANC

3 シミュレーション

まず、フィードフォワード型とフィードバック型それぞれのアルゴリズムを数値計算ソフト MATLAB 上でシミュレーションを行った。制御対象は、大型の産業用印刷機を印刷速度 13,000 枚/時で稼働させた時の印刷機本体から約 2m 離れた場所にあるコントロールパネルの前方での騒音をあらかじめ収録したものである。また二次経路は、制御スピーカと誤差信号マイクロフォンの間を 5cm とした場合とした。また、サンプリング周波数は 51,200Hz である。このとき制御スピーカから出た音が誤差信号マイクロフォンに届くまでの時間 T (秒) は次の式(1)で計算した。

$$T = \frac{D}{S} \quad (1)$$

このとき、 D は制御スピーカと誤差信号マイクロフォンの間の距離(m)、 S は音速 (340m/s) である。次に二次経路をサンプル遅れで表すため、遅延サンプル数 N を次の式(2)で計算した。

$$N = T \times F \quad (2)$$

このとき、 F はサンプリング周波数である。式(1)、(2)より、制御スピーカと誤差信号マイクロフォンの間を 5cm としたとき、遅延サンプル数 N は 8 である。

フィードフォワード型の結果を図 3 に、フィードバック型の結果を図 4 に示す。

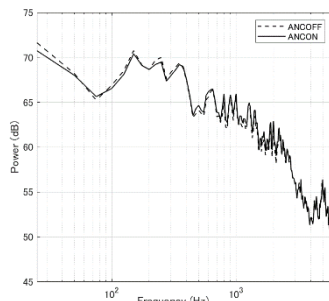


図 3: フィードフォワード型 ANC のシミュレーションの周波数特性

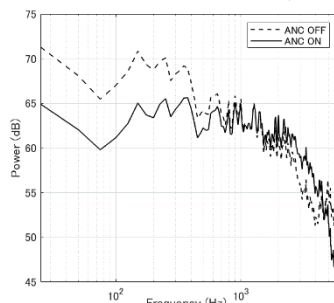


図 4: フィードバック型 ANC のシミュレーションの周波数特性

フィードフォワード型 ANC ではオーバーオール値が 83.4dB から 83.5dB へと 0.1dB 悪化した。また、フィードフォワード型 ANC では 83.4dB から 82.5dB へと 0.9dB 低減した。図 3、図 4 からフィードフォワード型では周波数特性に大きな変化は表れなかったが、フィードバック型では 1kHz 以下の周波数に大きな効果が表れた。フィードフォワード型、フィードバック型共にオーバーオール値に大きな変化が出なかった原因として、高域が悪化したことが考えられる。これを解消するには、アルゴリズムの高速化やコヒーレンスの向上等、様々な対策が必要であると考えられる。

4 実時間制御

次に、実際に工場内で大型の産業用印刷機の稼働時の騒音に対して、Field Programmable Gate Array (FPGA) を使って実時間制御を行った。従来の ANC では Digital Signal Processor (DSP) が使われてきたが、DSP よりも処理速度が速く高速演算が可能な FPGA を使うことで、従来よりも高いサンプリング周波数での広帯域騒音制御が期待できる。制御対象は、シミュレーションと同じく印刷速度 13,000 枚/時で稼働させた時の、印刷機本体から約 2m 離れた場所にあるコントロールパネルの前方での騒音である。また、サンプリング周波数は、フィードフォー

ド型は 8kHz、フィードバック型は 16kHz である。フィードフォワード型の結果を図 5 に、フィードバック型の結果を図 6 に示す。

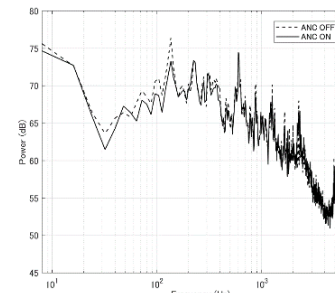


図 5: フィードフォワード型 ANC の実時間制御の周波数特性

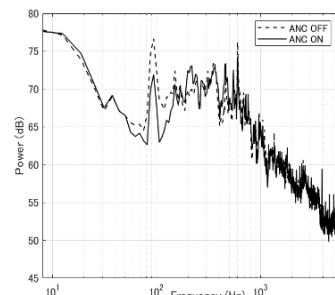


図 6: フィードバック型 ANC の実時間制御の周波数特性

フィードフォワード型 ANC ではオーバーオール値が 89.9dB から 89.6dB へと 0.3dB 低減した。また、フィードフォワード型 ANC では 90.6dB から 90.4dB へと 0.2dB 低減した。オーバーオール値はフィードフォワード型、フィードバック型共に大きな変化は表れなかった。従来、ANC の制御可能帯域は 500Hz までであると言われているが[2]、周波数特性を見ると、フィードフォワード型、フィードバック型共に 500Hz 以上の周波数も制御が出来ていることが分かる。よって本検討の ANC システムは、従来の ANC よりも高周波数の音の制御が可能であると言える。

5 結言

本検討では ANC による広帯域騒音制御の可能性を探った。従来の ANC よりも高周波数の制御は可能であったが、騒音レベルを 85dB 以下に低減することができなかったため、広帯域騒音制御が十分とは言えない。今後は広帯域騒音制御を可能とし、騒音レベルを 85dB 以下に低減するため、アルゴリズムのパラメータの設定、参照信号のマルチチャンネル入力の検討などを行っていく予定である。

参考文献

- [1] 中央労働災害防止協会安全衛生情報センター, “騒音障害防止のためのガイドラインの策定について”
- [2] 西村正治, 宇佐川毅, 伊勢史郎, “アクティブノイズコントロール”, コロナ社