

能動騒音制御におけるローパスフィルタの利用

2011SE035 服部雄斗

指導教員：大石泰章

1 はじめに

近年の工場の増設や大型運搬車両の増加により、騒音問題が引き起こされ私たちの生活に影響を及ぼしている [1].

特にここでは低周波音による騒音に着目する. 低周波音とは主に 100Hz 以下の周波音を指し, 不快感や圧迫感といった心身への影響, 窓や戸の揺れ, ガタつきといった物への影響がある. 今ではその対策として防音を施していることも多いが, その効果は限定的である. 何故なら, 音響抵抗を用いて遮音や吸音を行う防音, すなわち受動騒音制御は, 低い周波音を十分制御するには大きく, 重く, 高コストな対策が必要となるからである.

このような低周波音への対策として, 能動騒音制御 (アクティブノイズコントロール)[2] が挙げられる. これは抑制対象の音波に対し逆位相の音波を重ねて減衰させる方法であり, 波長の長い波, すなわち低周波音に有効である. また, リアルタイムでの処理を行う必要があるため, 少ない演算量で適応フィルタの適応を行う LMS アルゴリズムを一般に採用している. しかし, 高周波音に対して意図しない増幅を行う可能性があり, 一概に能動騒音制御が有効であると言えない.

本研究では, 高周波音に対する懸念を取り除くためにローパスフィルタを用いて能動騒音制御を行うことを考える. まず, 能動騒音制御のシステムをモデル化し, ローパスフィルタを設計する. 次にシミュレーションを行い, この制御系が低周波音に対して有効であるか確認する.

2 能動騒音制御システム

2.1 システムの概要

能動騒音制御は図 1 のようなシステムで行い, マイク 1 の地点での騒音の減衰を目的とする. すなわち, 騒音源から発生した音波に対して, マイク 1 の地点で逆位相になるような音波を制御音源で生成する. 制御音源で生成する音波は, 騒音源に対してマイク 1 より近い地点に置かれたマイク 2 で得た信号を FIR フィルタに通したものとし, その FIR フィルタ係数は LMS アルゴリズムによって学習するものとする.

図 1 のシステムを数理モデルで表す時, 信号は全て一定周期の離散時間信号であるとし, 時刻を n で表す. 騒音源から発生した音波をマイク 1 で測定したものを $d(n)$, マイク 2 で測定したものを $x(n)$ とする. 制御音源から発生した音波をマイク 1 で測定したものを $y(n)$ とし, マイク 1 で測定される信号全体を $e(n) = d(n) + y(n)$ とする. FIR フィルタの次数を N とし, その k 次の係数を

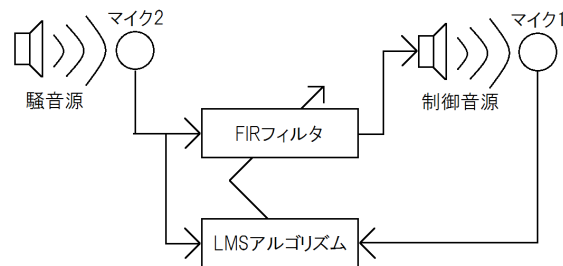


図 1 能動騒音制御システム

$h(k, n) (k = 0, 1, \dots, N - 1)$ とする. すなわち

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k, n)x(n-k) \quad (1)$$

である. この時, システムは図 2 のようなブロック線図で表わされる.

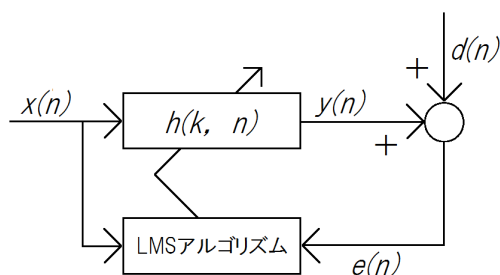


図 2 能動騒音制御システムのブロック線図

2.2 LMS アルゴリズム

FIR フィルタのフィルタ係数は LMS アルゴリズムにより逐次更新される. すなわち, $x(n)$ とフィルタ係数 $h(k, n)$ をベクトル表示して

$$\mathbf{h}(n) = [h(0, n), h(1, n), \dots, h(N-1, n)]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{x}(n) = [x(n), \dots, x(n-N+1)]^T \quad (3)$$

と書くと

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) - \mu e(n)\mathbf{x}(n) \quad (4)$$

となる [2]. ステップサイズパラメータ μ は正のスカラ量であり, 数値に応じて適応速度と適応精度が変化する. 通常はステップサイズパラメータが小さいほど適応速度が遅く適応精度が高いが, 対象とする周波数や用いる機器の性能により最適な値は異なる.

3 ローパスフィルタの導入

図3に能動騒音制御のシミュレーション結果を示す。ただしサンプリング周波数は2kHzとし、参照信号 $x(n)$ には白色雑音を与え、制御対象信号 $d(n)$ にはサンプリング周波数2kHzの3サンプル分、すなわち、1.5ミリ秒だけ遅延させ、極めて小さな雑音を加えた白色雑音を与える。この時、ステップサイズパラメータは $\mu = 0.001$ とする。「制御前」は制御対象信号 $d(n)$ 、「制御後」は誤差信号 $e(n)$ の応答を表わす。この二つを比較すると、900Hz 付近の周波数で制御後の信号が制御前の信号よりも増幅していることがわかる。

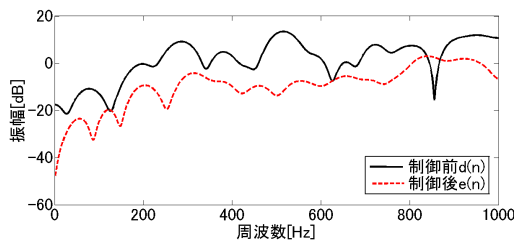


図3 能動騒音制御のシミュレーション

このことから、能動騒音制御の高周波音に対する騒音の抑制が十分ではないことがわかる。この対策として、LMS アルゴリズムの参照信号 $x(n)$ と誤差信号 $e(n)$ をローパスフィルタに通すことを考える。このシステムのブロック線図を図4に示す。

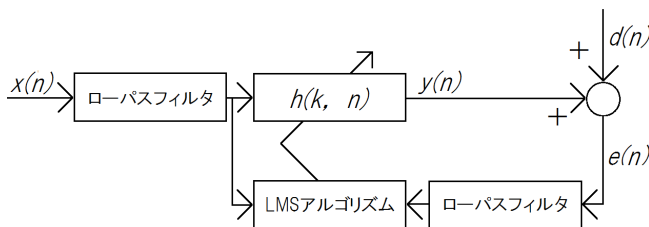


図4 ローパスフィルタ導入後のブロック線図

次にローパスフィルタを設計する。能動騒音制御において効果的に抑制できる周波数が500Hz以下であることから、500Hz以下の信号を減衰なく通過させるようにし、800Hz以上の信号は十分減衰させるようにする。更にタップ数を4回とすることで、遅延要素が少なく十分な減衰を行うデジタルフィルタを設計する。ここでは、図5のようなローパスフィルタを用いることにする。

4 シミュレーション

能動騒音制御のシステムにローパスフィルタを加えシミュレーションを行った、LMS アルゴリズムがある程度適応した時の誤差信号 $e(n)$ と制御対象信号 $d(n)$ の応答を図6に示す。

図6より、500Hz以下の騒音は十分な減衰が行われて

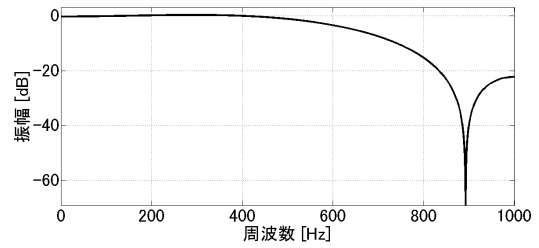


図5 ローパスフィルタの応答

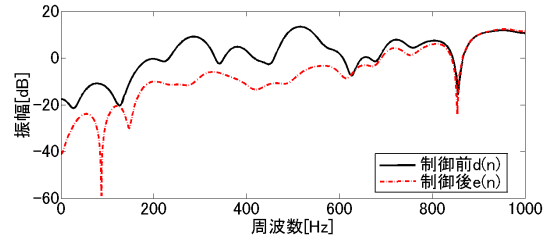


図6 ローパスフィルタ導入後のシミュレーション

いることが確認できる。また、800Hz以上の騒音は増幅せず、良好な結果を得る事ができた。

次に参照信号 $x(n)$ と制御対象信号 $d(n)$ に音楽データを与えてシミュレーションを行い、図7の応答を得た。

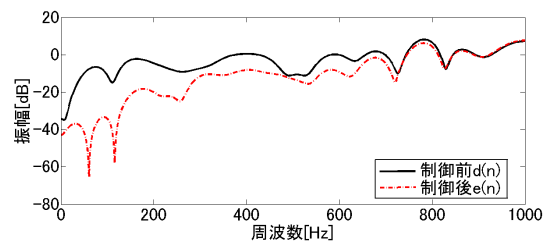


図7 音楽データに対する能動騒音制御

図7においても図6のシミュレーションと同様に、500Hz以下の騒音の十分な減衰と800Hz以上の騒音の増幅の抑制が確認できる。

5 おわりに

本研究では能動騒音制御にローパスフィルタを導入することを提案し、シミュレーションを通じてその有用性を確認した。今後の課題は、ステップサイズパラメータ μ の最適化を行うこと。また実機実験を行い、結果に基づき比較検討を行うことである。

6 参考文献

参考文献

- [1] 低周波音の測定方法に関するマニュアル, <http://www.env.go.jp/air/teishuha/manual/index.html>, 環境省, 2000.
- [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, 2006.