

打音検査のためのスペクトログラムモルフォロジカル雑音抑圧法

Spectrogram morphological noise suppression for hammering test

† 内山 竜吾

Ryugo UCHIYAMA

† 田邊 造

Nari TANABE

公立諏訪東京理科大学† Suwa University of Science

E-mail:†{T119030@ed, nari@rs}.sus.ac.jp

1 はじめに

本論文は、モルフォロジカルフィルタを用いたリアルタイム打音検査のための雑音抑圧手法を提案する。提案手法は、(Step1) トンネルや橋梁などの壁面の観測打音信号を STFT してスペクトルを取り出した後に、パワースペクトルを打音のダイナミックレンジで制限して、固定閾値処理で制限演算子を作成する。次に、(Step2) 制限演算子にモルフォロジカルフィルタを構成して、(Step3) 観測スペクトルを掛け合わせた後に、ISTFT することで打音を抽出している。提案手法の特徴は、スペクトログラムにモルフォロジカルフィルタを適用することで (i) 打音の周りの雑音を抑圧して、(ii) 打音を強調することが可能なことである。

2 提案手法

Step 1 ダイナミックレンジ制限と二値化処理

時刻 n における観測信号 $x_{L/R}(n)$ を短時間フーリエ変換 (STFT) した観測スペクトルは

$$X_{L/R}(\lambda, k) = D_{L/R}(\lambda, k) + V_{L/R}(\lambda, k) \quad (1)$$

と表される。ここで、 $D_{L/R}(\lambda, k)$ と $V_{L/R}(\lambda, k)$ は所望信号 $d_{L/R}(n)$ と $v_{L/R}(n)$ を STFT した信号であり、 λ と k はそれぞれフレーム番号と周波数ビン番号である。

打音の特徴信号は $1500\text{Hz} \sim 3000\text{Hz}$ に存在するため、その範囲のパワースペクトルの最大値から -3dB までをダイナミックレンジとして

$$\tilde{X}_{L/R}(\lambda, k) = \begin{cases} X_{L/R}(\lambda, k) & \text{if } -3 \leq G \leq \max \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

と定義することで、スペクトルから大きすぎる騒音や微細ノイズを除去している。ここで、 G はパワースペクトルをデシベル単位に変換したものであり、 \max はパワースペクトルの最大値の対数を取り 10 倍したものとす。

次に、ダイナミックレンジで制限したスペクトルを 9 フレーム分確保して、制限情報をを用いた固定閾値処理により次式

$$Y_{L/R}(\lambda, k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \tilde{X}_{L/R}(\lambda, k) > 0 \\ 0 & \text{if } \tilde{X}_{L/R}(\lambda, k) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

とする。 $Y_{L/R}(\lambda, k)$ は制御演算子である。

Step 2 モルフォロジカルフィルタによる雑音抑圧

モルフォロジカルフィルタ [1] は、式 (4) の opening と (5) の closing として定義される。

$$A_B = (A \ominus B^S) \oplus B \quad (4)$$

$$A_B = (A \oplus B^S) \ominus B \quad (5)$$

ここで、 B^S は B の原点対象の集合である。また、モルフォロジーの基本演算は処理対象 A と構造要素 B を用いて、ミンコフスキー和と差の次式となることが知られている。

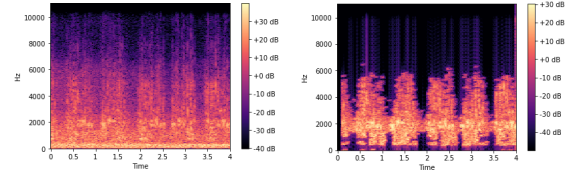
$$A \oplus B = \{a + b | a \in A, b \in B\} = \bigcup_{b \in B} (A)_b \quad (6)$$

$$A \ominus B = \{a | a - b \in A, b \in B\} = \bigcap_{b \in B} (A)_b \quad (7)$$

ここで、 $(A)_b$ は A を b だけ平行移動したものである。

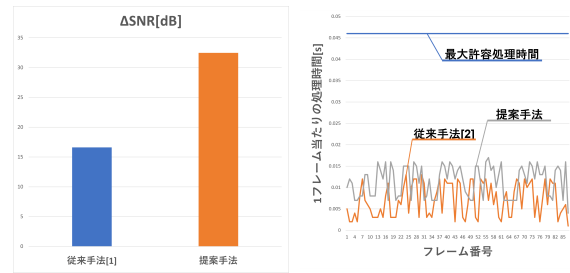
式 (4) と式 (6) から、スペクトルを二値化した演算子に用いると、モルフォロジカルフィルタ $\tilde{Y}_{L/R}$ は

$$(\tilde{Y}_{L/R})_E = (((Y_{L/R} \ominus E) \oplus E) \ominus E) \oplus E \quad (8)$$



(a) 観測スペクトログラム (b) 打音スペクトログラム

図 1 主観的評価



(a) 客観的評価

(b) 処理速度評価

図 2 客観的評価・処理速度評価

となり、侵食処理 (Erosion) を 2 回、膨張処理 (Dilation) を 2 回施して opening 処理をした後に、削りすぎを考慮して膨張処理を 1 回実行する。ここで、 E は 3×3 の構造要素である。

Step 3 打音の抽出

観測スペクトル $X_{L/R}(\lambda, k)$ にモルフォロジカルフィルタを掛けることで、打音スペクトル $\hat{X}_{L/R}(\lambda, k)$ は

$$\hat{X}_{L/R}(\lambda, k) = \tilde{Y}_{L/R}(\lambda, k) \cdot X_{L/R}(\lambda, k) \quad (9)$$

となり、 $\hat{X}_{L/R}(\lambda, k)$ を逆短時間フーリエ変換 (ISTFT) することで打音信号を抽出している。

3 主観的評価・客観的評価・処理速度評価

図 1 は、観測スペクトログラムと提案手法により抽出した打音信号を比較している。図 1 より、提案手法は大きすぎる騒音や微細ノイズを抑圧しているにもかかわらず、 $1500\text{Hz} \sim 3000\text{Hz}$ に存在する打音の特徴をしっかりと残していることを確認できる。

図 2 は、従来手法 [2] と提案手法の ΔSNR (SNR 向上率) による客観評価と両方の処理時間を評価したものである。図 2(a) より、提案手法は従来手法に比べて値が大きく、雑音抑圧精度が高いことが確認できる。また、図 2(b) は従来手法と提案手法の処理速度を比較したものである。図 2(b) より、提案手法は従来手法より処理速度が若干遅いが、最大許容処理時間には達していないため、リアルタイム処理が可能であることが確認できる。

以上により提案手法は、雑音が非常に大きな環境でもリアルタイムに打音信号を抽出可能であるといえる。

4 まとめ

本論文は、モルフォロジカルフィルタを用いたリアルタイム打音検査のための雑音抑圧法を提案した。提案手法は、観測信号のスペクトルをダイナミックレンジで制限することによって大きすぎる騒音や微細なノイズを除去し、制限演算子とモルフォロジカルフィルタにより打音の輪郭を保存し強調することが可能となったといえる。

参考文献

- [1] Evans, N.D., Mason, J.S. & Roach, M.J., "Noise Compensation using Spectrogram Morphological Filtering", In proceeding of 4th IASTED International Conference Signal Image Processes, pp.157-161, 2002.
- [2] 内山竜吾, 堀見己, 田邊造, "雑音環境下における打音検査のための BW 型フィルタを用いた打音強調と有色性振動源カルマンフィルタによる雑音抑圧法", 電子情報通信学会信越支部大会, Sep. 2022.