

# 雑音抑圧にHPSSを用いた打音検査システムのための AdaBoost-SVM型自動判定アルゴリズム

AdaBoost-SVM-type automatic decision algorithm  
for hammering inspection system using HPSS as a noise suppressor

† 小山 二千翔  
KOYAMA Nichika

† 田邊 造  
TANABE Nari

公立諏訪東京理科大学† Suwa University of Science  
E-mail:†{T120064@ed, nari@rs,}.sus.ac.jp

## 1 はじめに

本論文は、打音と雑音が混在する観測信号を用いて雑音抑圧して、打音を抽出した後に、AdaBoost-SVMを用いて検査箇所の健全部と損傷部を判定する打音検査システムを提案する。提案手法は、(Step 1) 観測信号をHPSSで雑音抑圧して打音信号を抽出した後に、打音信号のスペクトルピークとその周波数を特徴量とする。(Step 2) AdaBoost-SVMを用いて健全部と損傷部の判定をしている。提案手法の特徴は、健全部と損傷部の判定に必要な特徴的な打音を消さずに雑音抑圧をすることで、判定精度を向上している点である。

## 2 提案手法

観測信号  $x_{L/R}(n)$  を STFT した観測スペクトル  $X_{L/R}(\lambda, k)$  は

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

となる。ここで、 $\lambda$  はフレーム番号、 $k$  は周波数ビン番号、 $D_{L/R}(\lambda, k)$  は打音スペクトル、 $V_{L/R}(\lambda, k)$  は雑音スペクトルである。

観測信号をスペクトログラム分析した結果、打音は周波数方向に連続、雑音は時間方向に連続であるという特徴が判明した。このような特徴があるときに有効な手法である調波打楽器音分離 (以下 HPSS) の1つである median 型 HPSS を適用したところ、健全部と損傷部の判定に必要な特徴的な打音も抑圧される問題がある。この理由は、Step1 の強調打音スペクトログラムを算出するときに、メディアンフィルタによってある周波数帯域に存在する特徴的な打音が、範囲内の中央値に収束して消えることが要因だと考えられる。

そこで、特徴的な打音が存在する区間を避けて HPSS を適用するために、周波数方向の処理範囲を決定して健全部と損傷部を判定する打音検査システムを提案する。

### Step1 HPSS による打音信号抽出

事前 SN 比の平均

$$\overline{\text{SNR}}(\lambda) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} (10 \log_{10} \frac{\bar{S}_{L/R}(\lambda-1, k)}{\bar{V}_{L/R}(\lambda-1, k)}) \quad (2)$$

を算出する。ここで、 $\bar{S}_{L/R}(\lambda-1, k)$  は事前推定打音スペクトル、 $\bar{V}_{L/R}(\lambda-1, k)$  は事前推定雑音スペクトル、 $K$  は1フレームのサンプル数である。また、求めた事前 SN 比の平均を用いて、周波数方向処理範囲  $l_h$  をフレーム毎に算出する。ただし、打音検査環境は低周波数帯に雑音が存在していることから、次式で周波数方向処理範囲  $l_h$  を定める。

$$l_h [\text{Hz}] = \begin{cases} f_n & (\overline{\text{SNR}}(\lambda) < -5) \\ 1500 & (-5 \leq \overline{\text{SNR}}(\lambda) < 5) \\ 1300 & (5 \leq \overline{\text{SNR}}(\lambda) < 15) \\ 1000 & (15 \leq \overline{\text{SNR}}(\lambda)) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $f_n$  はナイキスト周波数である。また、式(3)は打音が発生しているときはメディアンフィルタの適用範囲を狭め、打音が発生していないときは適用範囲を広くすることで、特徴的な打音が抑圧されないようにすることを意味する。

周波数方向と時間方向それぞれにメディアンフィルタを適用して、強調打音スペクトログラム  $\hat{S}_{L/R}(\lambda, k)$  と強調雑音ス

ペクトログラム  $\hat{V}_{L/R}(\lambda, k)$  を算出する。ただし、 $\hat{S}_{L/R}(\lambda, k)$  のフィルタ長には式(3)で求めた処理範囲  $l_h$  を用いる。各強調スペクトログラムの現在フレーム番号  $\lambda_{\text{now}}$  について、ウィナーフィルタを適用することで推定打音スペクトル

$$\tilde{S}_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k) = X_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k) \frac{\hat{S}_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k)}{\hat{S}_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k) + \hat{V}_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k)} \quad (4)$$

を算出する。この推定打音スペクトル  $\tilde{S}_{L/R}(\lambda_{\text{now}}, k)$  に位相情報を付加して、ISTFTにより推定打音信号  $\tilde{s}_{L/R}(n)$  を算出する。

算出した推定打音信号  $\tilde{s}_{L/R}(n)$  を STFT して、各フレームごとのスペクトルピーク

$$P_{\lambda_{\text{now}}, k_p} = \max\{\tilde{S}(\lambda_{\text{now}}, 1), \dots, \tilde{S}(\lambda_{\text{now}}, K)\} \quad (5)$$

を算出する。ここで、 $k_p$  はスペクトルピークにおける周波数ビン番号である。次に、打音が発生していない時間の特徴量を抽出することを避けるために、複数フレームから1つの特徴量を抽出することを考える。特徴量抽出フレームを  $l_T$  として、 $l_T$  内での推定打音スペクトルピークの最大値  $\hat{P}_T$  とその周波数  $f_T$  を選択し、特徴量ベクトルを  $\theta_\tau = (\hat{P}_\tau, f_\tau)$  とする。ここで、 $\tau$  は  $l_T$  毎に加算されるインデックスである。

### Step2 AdaBoost-SVM による健全部・損傷部判定

$\theta_\tau$  に健全部 +1 と損傷部 -1 としたクラスラベル  $t_T$  を付加し、教師データを  $\mathbf{r}_\tau = (t_\tau, \theta_\tau)$  とする。

AdaBoost の弱学習機に SVM を用いた AdaBoost-SVM で健全部・損傷部の判定をする。

## 3 計算機シミュレーション

推定打音信号の教師データ  $\mathbf{r}_\tau$  を三分割し、クロスバリレーション法を用いて健全部と損傷部の判定をした結果を表1に示す。なお、表1は提案手法と median 型 HPSS で雑音抑圧した後に、その教師データを AdaBoost-SVM で判定した結果を比較しており、Accuracy は判定精度、f1-score は適合率と再現率の調和平均を表す。

雑音抑圧法	Accuracy	f1-score
提案手法	<b>0.84</b>	<b>0.82</b>
median 型 HPSS	<b>0.75</b>	<b>0.73</b>

表1より、提案手法では平均84%、median型HPSSでは平均75%の精度で判定可能となった。また、f1-scoreは提案手法で平均82%、median型HPSSで平均73%であることから、提案手法は適合率と再現率のバランスが取れたモデルを生成できることを確認した。

## 4 まとめ

本論文は、提案手法のHPSSで観測信号を雑音抑圧した後に、AdaBoost-SVMで健全部と損傷部の判定をする自動判定アルゴリズムを提案した。提案手法の有効性は計算機シミュレーションで明らかにしている。

### 参考文献

- [1] 堀 見己, 田邊 造, 藤沢 匡哉, “壁昇降打音検査ロボットのための処理範囲修正 HPSS 型雑音抑圧法”, 電子情報通信学会信越支部大会, 2022年9月.