Earthquake/Noise Discrimination with Convolutional Neural Network

*Shota Kudo[1], Kengo Shimojo[1], Koji Tamaribuchi[2]

1. Japan Meteorological Agency, 2. Meteorological Research Institute

自動震源決定では, インパルス的なノイズをP相として誤検測することにより, 誤った震源を決定してしまったり, 震源精度を低下させてしまったりする場合がある. 検測した波形が地震であるかノイズであるかを正確に識別することができれば, 自動震源の決定性能向上につながると期待される.
近年, 幅広い分野で機械学習, とりわけディープラーニングを用いた手法が著しい成果を挙げている. Meier et al. (2019, JGR)においては, 地震波形とインパルス的なノイズ波形を高精度で識別できる機械学習モデルを作成している. 本研究では, Meier et al. (2019)の中でもとりわけ性能の良い畳み込みニューラルネットワークを用いたモデルを, 気象庁の保有するデータによって訓練し, より微小な地震についても, このモデルが高精度の地震／ノイズ識別能力を有するかを検証する.
データは, 地震／ノイズの二値分類を行うため, P相周辺の地震波形とインパルス的なノイズ波形データ(3成分, 100Hz)をそれぞれ収集した. 期間は, 気象庁の自動震源決定手法であるPF法の運用開始以降となる2016年4月～2019年4月とした. 地震波形については, 一元化震源のうち精度良く決定された震源(震源決定フラグ: K, k, A)を計算するのに用いられた検測値に対応する波形データを収集した. ノイズ波形については, PF法が誤検知した震源を計算するのに用いられた検測値に対応する波形データを収集した. 集めたデータは訓練, 検証, テストデータに8:1:1の割合で分配した. この際, 同じ地震についての波形が訓練, 検証, テストデータに分配されないように配慮した. 全ての波形データには遮断周波数が0.5Hzのハイパスフィルタを適用した. 波形データは検測値を含む4秒間の波形に切り出し, 振幅の最大絶対値で割って波形を規格化した. モデルの頑健性を増やすため, 4秒間に切り出す際には, 検測値の位置が1～3秒の間にランダムに位置するように切り出した.
モデルは, Meier et al. (2019)と同様に, 4秒間3成分の波形を入力とし, 1次元畳み込み層・バッチ正規化・活性化・最大値プーリングを1まとまりとして3つ重ねた後, 全結合層・バッチ正規化・活性化のまとまりを2つ重ね, 出力層では入力波形が地震である確率を出力とした. 1次元畳み込み層のフィルタ数は順に32, 64, 128で, フィルタ幅はどれも16とし, プールサイズは2とした. 全結合層は2つとも80ユニットとし, 出力層は1ユニットとした. 出力層以外の活性化関数はReLU関数とし, 出力層の活性化関数はシグモイド関数とした. このモデルの前半3つの畳み込み層では地震波形に反応する特徴抽出システムが学習され, 後半2つの全結合層ではその特徴量から地震／ノイズへの分類器が学習されると考えられる. 損失関数はバイナリ交差エントロピーとし, 最適化手法はAdam, 学習率は0.001とした. バッチサイズ48のミニバッチ学習を行い, 検証データに対する損失値が5エポック以上続けて改善しない場合に学習を早期終了した. この学習プロセスを複数回繰り返し, 検証データに対する損失が最小となるモデルを最良モデルとして選択した. なお, Meier et al. (2019)のモデルとは出力層のユニット数・活性化関数および損失関数の設定が異なるが, 本質的な差はないと考えられる.
最良モデルについて, 地震であると分類する確率の閾値を0.5としたときの適合率, 再現率を求めると95%以上となった. これは1観測点の波形のみから地震／ノイズを識別した場合の値であるので, 複数観測点の波形を組み合わせて識別すれば, ノイズによる地震の誤検知を劇的に減らすことができると予想される. 発表では, 作成した地震／ノイズ識別モデルによる処理をPF法に盛り込むことにより, PF法の震源決定性能がどの程度向上するかについても触れる予定である.

© The Seismological Society of Japan