

重力波の観測データに対する リカレントニューラルネットワークを用いたノイズ除去の検討

住安 宏介 酒井 一樹
長岡工業高等専門学校 電子制御工学科

1. はじめに

近年、アメリカの重力波観測グループ LIGO による人類初の重力波の直接観測が達成された。重力波を観測することで電波観測では調べられなかった天体現象が調べられるようになると期待されている。重力波というのは質量のある物体の加速度運動により生じる時空のさざ波である。しかし、重力波は非常に微弱であるため、観測データにおいてはノイズに埋もれてしまう。観測した重力波波形の詳細を調べるために、現在は線形時不変フィルタを用いてノイズ除去が行われているが、観測データに含まれるノイズは複雑で非定常性を備えているため、フィルタ設計を人間が行うには限界がある。近年ではニューラルネットワークを用いたノイズ除去の検討が始められているが、十分に汎化性能を検証した報告はまだない。本研究では、重力波の観測データに対するリカレントニューラルネットワークを用いたノイズ除去を検討する。

2. 実験概要

今回の研究では、sequence to sequence モデル^[1]を扱うリカレントニューラルネットワークで二層の LSTM をもつ Encoder と一層の LSTM を持つ Decoder をもつ雑音除去自己符号化器を用いてノイズ除去の検討を行う。ノイズを含む重力波の観測データを入力として、ノイズを含まない重力波の波形を出力とする雑音除去自己符号化器を作成し、その評価を行う。

2.1 実験内容

訓練用データとして、理論的な連星合体の重力波の波形を用いる。重力波のパラメータとして、波源から検出器までの距離を 100[Mpc] で固定する。また、2 つの星の質量をそれぞれ 10, 15, ..., 50 [M_{sun}] のどれかとする 81 種類の理論波形に対し、それぞれ 100 通りのノイズを加えた 8100 種類のデータセットを 5 つ用意する。ノイズには、Advanced LIGO のデザイン感度に基づくガウシアンノイズを用いる。このデータセットを 100epoch 毎に入れ替えることによって過学習を防ぐ効果を確認する。

また、評価用データとして、2 つの星の質量をそれぞれ 10 [M_{sun}] から 50 [M_{sun}] の範囲で一様乱数によって決めた 50 種類の理論波形に対し、それぞれ 100 通りのノイズを加えた 5000 種類のデータを作成した。

2.2 実験結果

エポックごとの損失の推移を表す学習曲線を図 1 に示す。

また、ある評価用データに対するノイズ除去結果を図 2 に示す。

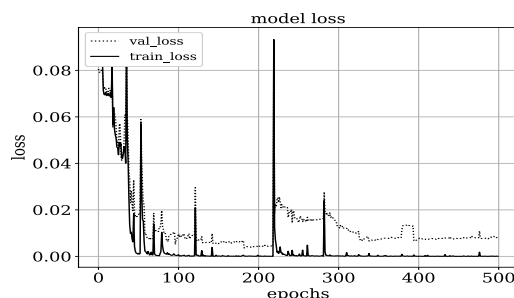


図 1. 学習曲線

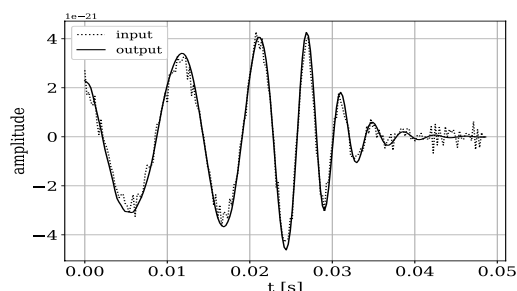


図 2. 評価用データに対するノイズ除去結果
点線が入力で実線が出力を示す。

図 1 よりエポック数 300 あたりから損失が安定して低くなっており、学習が収束していると言える。そして、図 2 より、入力と出力を比較するとノイズが除去できており、元の波形を推定できていると言える。

3. まとめと今後の課題

今回の研究結果により sequence to sequence モデルを用いることで、重力波の観測データに対するノイズ除去がある程度可能ということがわかった。今後は、ノイズ除去の精度を上げるために訓練データの作り方やパラメータの調整について検討を進めていく。そして、そのモデルを用いてより実際の観測データに近い設定でのシミュレーションを行っていく。具体的には、実際に観測された検出器のノイズを含んだデータを利用していくことを考えている。

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K14717 の助成を受けたものである。

参考文献

[1] I.Sutskever, V.Oriol, and Q.V.Le. "Sequence to sequence learning with neural networks." *Advances in neural information processing systems*. 2014.