様式８

令和６年度（2024）　共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名	和文：機械学習・深層学習を用いたノイズ特徴の分析と干渉計診断への応用（IV） 英文：Noise characteristics analysis using machine learning and deep learning and its application to interferometer diagnosis (IV)
研究代表者 参加研究者	髙橋弘毅（東京都市大学 総合研究所宇宙科学研究センター） Marco Meyer-Cond，坂井佑輔 （東京都市大学 総合研究所宇宙科学研究センター） 大橋正弥，飯田百香（東京都市大学 大学院総合理工学研究科情報専攻/総合研究所宇宙科学研究センター） 内山隆，横澤孝章，山本尚弘，押野翔一，譲原浩貴 （東京大学 宇宙線研究所） 鹿野豊（筑波大学 システム情報系） 鷲見貴生（国立天文台 重力波プロジェクト） 神田展行，伊藤洋介，岩永響生（大阪公立大学大学院 理学研究科）

研究成果概要

突発性雑音（グリッチ）を分類する事は，その発生起源や重力波検出器のパフォーマンス向上を探る１つの手がかりになると考えられている．そこで，畳み込み深層ニューラルネットワークを用いた手法を提案し評価を進めている．この手法は，大きく２つのプロセス（特徴量学習と分類・除去）から構成している．具体的には，変分オートエンコーダにより突発性雑音の潜在変数（特徴量）を抽出し，スペクトラルクラスタリングにより分類する手法を開発・評価している．2024 年度は，特に，Uniform Manifold Approximation and Projection を用いた潜在変数の可視化，および，その可視化を用いた突発性雑音の分類の理解に力を入れ進めた．概ね予想していたパフォーマンスとなったため評価結果などを論文としてまとめ出版した（論文[3][4]）．

KAGRA のテスト観測データを用いて，開発した突発性雑音分類の解析パイプラインのテストと評価を実施し（図 1），現在，その結果を論文としてまとめる作業を進めている．

また，関連した先端的な信号処理技術を重力波データ解析に応用する研究として，超新星爆発から放出される重力波を検出した際に用いることを念頭に Hilbert-Huang 変換を用いた超新星爆発の原始中性子星のパラメータを推定する新たな手法を開発・評価をして，その結果をまとめ論文として出版をした（論文[1][2]）．

最近の主な論文発表としては以下が挙げられる：

[1] Kazuki Sakai, Sodtavilan Odonchimed, Mitsuki Takano, Hirotaka Takahashi, “Automated design of digital filters using convolutional neural networks for extracting ringdown gravitational waves”, Machine Learning: Science and Technology, Vol. 5, No 4, 045043 (2024). doi: 10.1088/2632-2153/ad8b94

[2] Seiya Sasaoka, Yusuke Sakai, Diego Dominguez, Kentaro Somiya, Kazuki Sakai, Ken-ichi Oohara, Marco Meyer-Conde, Hirotaka Takahashi, “Parameter estimation of protoneutron stars from gravitational wave signals using the Hilbert-Huang transform”, Physical Review D, Vol.110, No.10, 104020 (2024). doi: 10.1103/PhysRevD.110.104020

[3] Naoki Koyama, Yusuke Sakai, Seiya Sasaoka, Diego Dominguez, Kentaro Somiya, Yuto Omae, Yoshikazu Terada, Marco Meyer-Conde, Hirotaka Takahashi, “Enhancing the rationale of convolutional neural networks for glitch classification in gravitational wave detectors: a visual explanation”, Machine Learning: Science and Technology, Vol.5, No 3, 035028 (2024). doi:10.1088/2632-2153/ad6391

[4] 坂井佑輔, 寺田吉壱, 高橋弘毅, “重力波観測における突発性雑音の教師なし分類”, 応用統計学, Vol.53, No.1, pp.33-54 (2024). doi:10.5023/jappstat.53.33

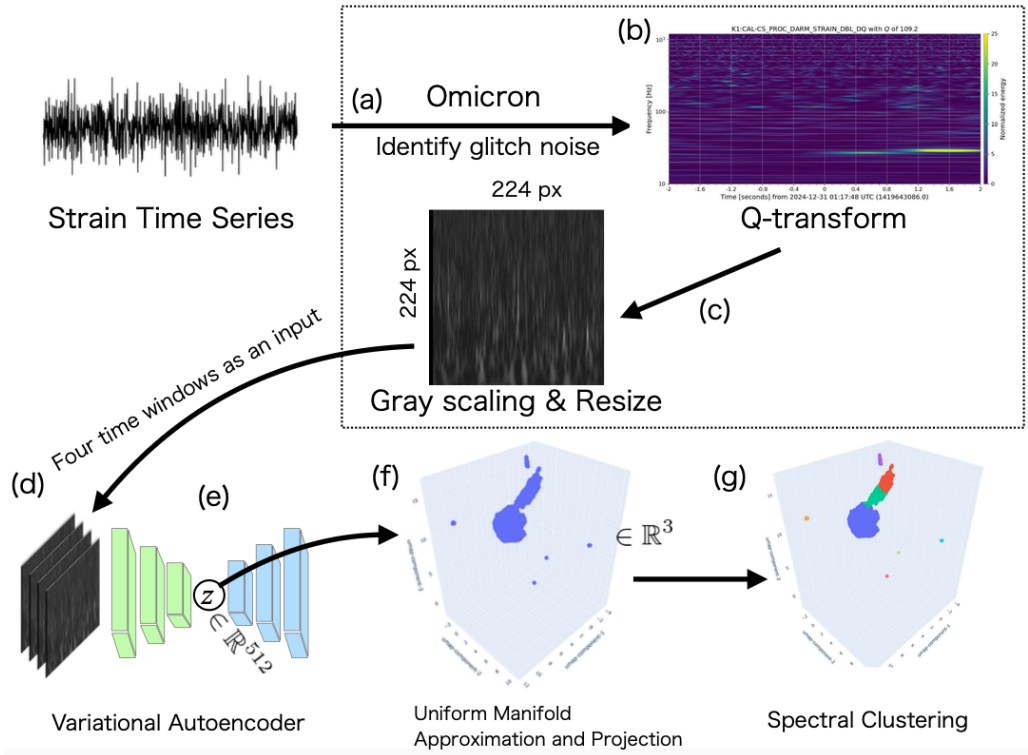

図 1: 突発性雑音分類の解析パイプラインの概要

整理番号 G10