

KAGRAデータへの適用に向けた深層学習に基づく突発性雑音分類システムの開発

上島 元¹ (長岡技術科学大学)

若山圭以子², 小坂井千紘³, 押野翔一², 鹿野豊⁴, 高橋弘毅⁵, 内山隆², 鷲見貴生³, 山本尚弘², 横澤孝章² (2東京大学宇宙線研究所, 3国立天文台, 4慶應義塾大学, 5東京都市大学)

背景

- 重力波望遠鏡の開発では、重力波以外のあらゆる雑音の影響を排除していくことが重要である。
- 特に懸念されるのは、地面振動や雷、機器の振動などの環境的な外乱により発生する**突発性雑音** (グリッチ, Glitch) と呼ばれるものである。
- 突発性雑音はあらゆる形態の時間-周波数特性 (図1) を有しており、その特徴は原因に起因すると考えられている。
- 突発性雑音は、重力波の波形を模倣したり隠蔽したりする。(図2, 図3)
- 重力波望遠鏡で偶然の一致が無視できない程の高頻度で発生している。(超新星爆発からの重力波の観測等に大きな支障)
- 近年では、専門家による議論により突発性雑音データにラベル付けし、教師あり学習による分類手法を適用している[1]が、課題#1, #2がある。

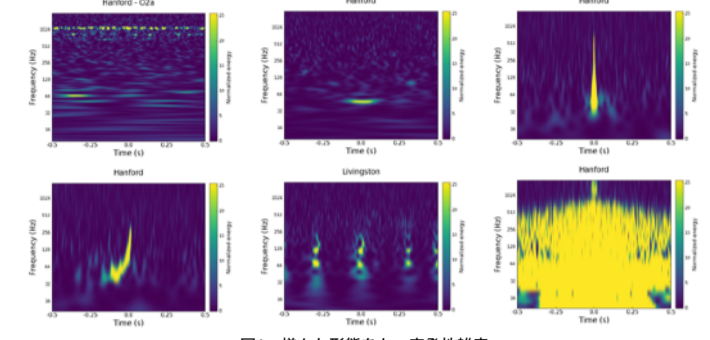


図1. 様々な形態をもつ突発性雑音

#1. 突発性雑音データの性質に関する課題

- 原因クラスの真の数は未知数である
- 原因毎に発生頻度が異なる不均衡データである

#2. 教師あり学習に関する課題

- 膨大な突発性雑音データのラベル付けを人手により行うのは困難
- #1のような複雑な性質のため、ラベル付けが主観的になり得る

提案手法

ラベル付けを必要としない教師なし学習に基づいて、突発性雑音を分類するシステム (図4) を提案する。

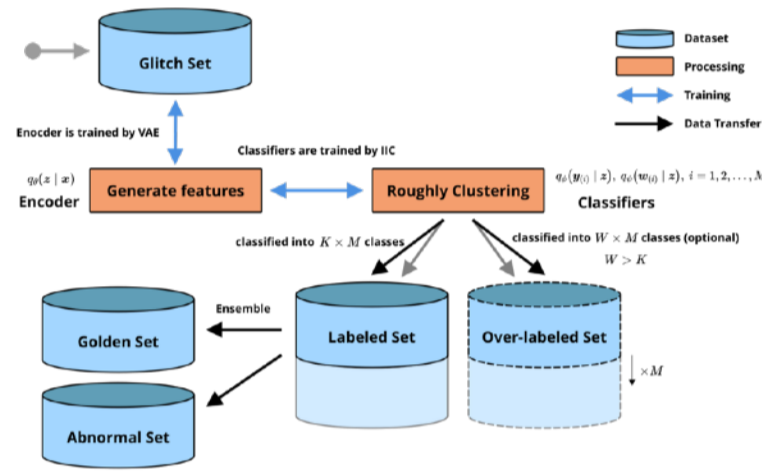
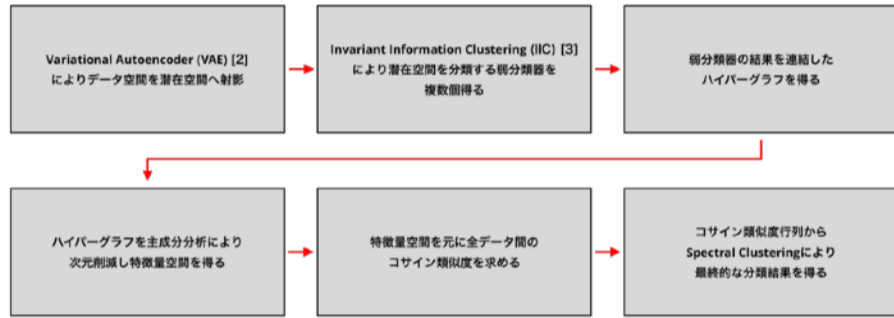


図4. 提案するシステムの構成

本システムの用途・貢献

- 潜在空間の可視化による突発性雑音データの関係性の把握 (実験1)
- 特徴の類似性に基づく検索エンジンとしての利用 (実験2)
- クラスタリング手法としての利用 (実験3)

分類の手順



実験1: 潜在空間の可視化

先行研究のクラスの潜在空間上の分布を二次元可視化する

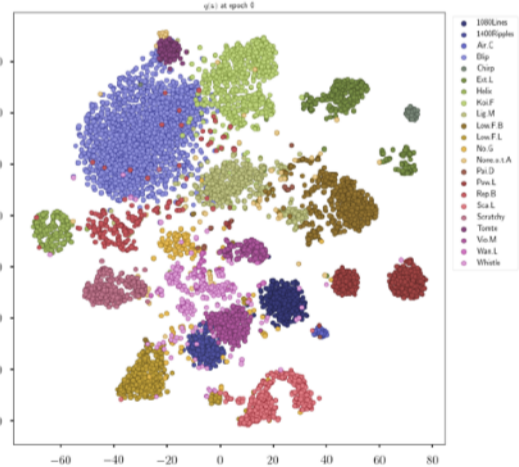


図5. t-SNEによる潜在空間の二次元可視化

- 先行研究のクラスが潜在空間上でもまとまっていることが分かる
- クラスによっては、分布が分かれたりまとまらないことがある。
 - 分布が分かれるクラスはサブクラスを含んでいる可能性がある
 - まとまらないクラスはラベル付けが間違っている可能性がある

各突発性雑音データとクラスの関係性を包括的に把握できる

実験2: 類似度に基づく検索

類似性に基づいた検索結果を可視化する

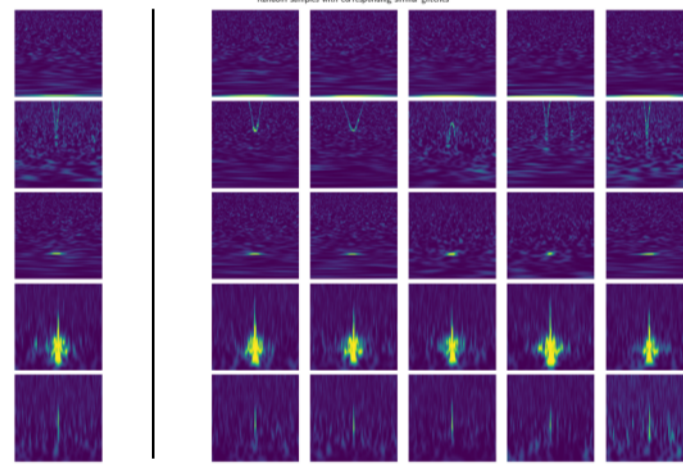


図6. 無作為抽出データ(左)と類似データ(右)

- 特徴の類似性 (縦線, 横方向の広がり具合, ある周波数帯の横線) を捉えて検索できていることが分かる。
- 学習済みのモデルを用いれば、検索結果が素早く得られる
- 高精度で類似したデータを検索できている。

類似した複数のデータを用いて統計的な原因探索ができる

実験3: クラスタリング

クラスタリング結果を先行研究と比較する

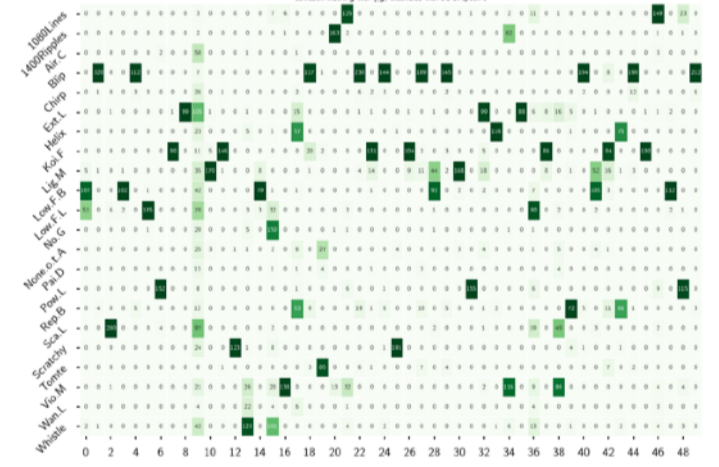


図7. 先行研究のラベル(軸)と本手法による予測ラベルの混合行列

- 共通した特徴を持つクラスのデータを独立して分類している。
- 明確な意味を持たないクラス (None.o.t.AやWan.L) のデータは独立して分類されない。
- 先行研究において単一のクラスに分類していたデータを複数のクラスに分類している場合がある。(BlipやKoi.F)

特徴量空間におけるまとまりとして強い意味を持つクラスから順に抽出できるため、客観的なクラスタリングができる

まとめ

- 教師なし学習に基づいた突発性雑音の分類システムを提案した。
- 提案手法の, i) 潜在空間の可視化 ii) 類似性に基づく検索, iii) クラスタリングへの利用に関する実用性を先行研究のデータを用いた実験から示した。

今後の課題

- 今後は以下の点について検討し、手法を改良していく
 - 突発性雑音データの時間-周波数マップ以外の特徴量の利用
 - 特徴量空間の生成過程の最適化やチューニング
 - 分類結果の解釈性の向上
- 本手法をKAGRAデータへ適用し、実用化に向けた最終調整を行う。

参考文献

- [1] M. Zevin, et al., "Gravity Spy: Integrating Advanced LIGO Detector Characterization, Machine Learning, and Citizen Science", Classical and Quantum Gravity, Vol.34, 064003 (2017).
- [2] D. Kingma, et al., "Auto-Encoding Variational Bayes", arXiv:1312.6114v10 (2014).
- [3] Xu Ji, et al., "Invariant Information Clustering for Unsupervised Image Classification and Segmentation", arXiv:1807.06653v4 (2019).