

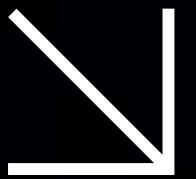
G2Net Gravitational Wave Detection

Xây dựng mô hình Deep Learning phân loại tín hiệu sóng hấp dẫn
trên nền nhiễu phức tạp

GVHD: PGS.TS. Lê Anh Cường

SVTH: Đào Nguyễn Tấn Đạt (52300097)

Nguyễn Duy Minh Đăng (52300095)



BỐI CẢNH & MỤC TIÊU

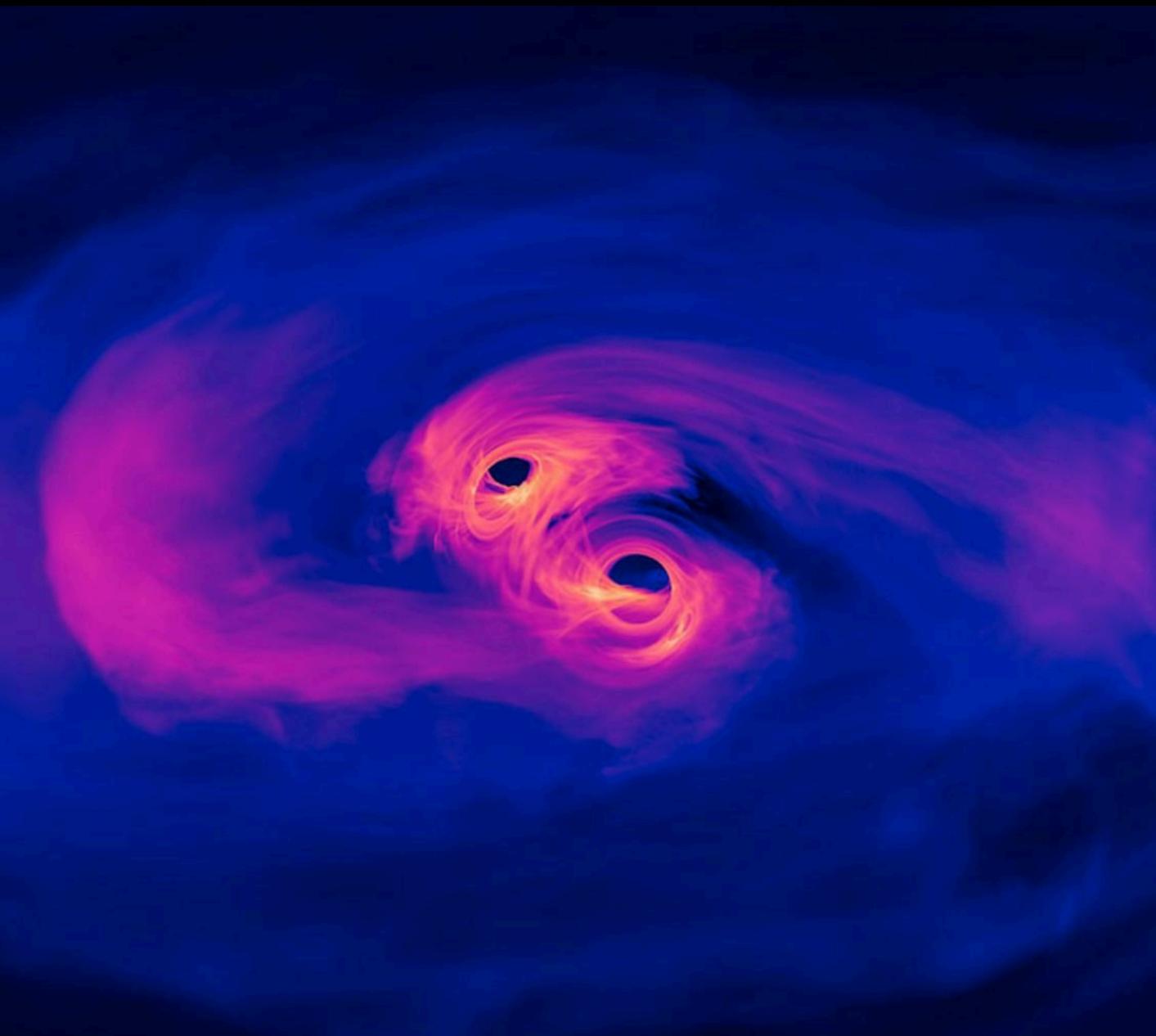
G2Net Gravitational Wave Detection

Bối cảnh

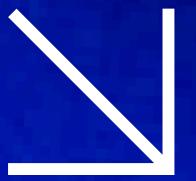
- Phát hiện sóng hấp dẫn (GW) từ sự kiện sáp nhập hai hố đen.
- Tín hiệu cực nhỏ, chìm trong nền nhiễu phức tạp và không dừng.

Mục tiêu

- Xây dựng mô hình Deep Learning phân loại nhị phân:
 - **Target=1:** Có sóng hấp dẫn.
 - **Target=0:** Chỉ có nhiễu.



Minh họa quá trình sáp nhập hai hố đen



TỔNG QUAN DỮ LIỆU & THƯỚC ĐO

Input Dimensions

(3, 4096)

Thời lượng

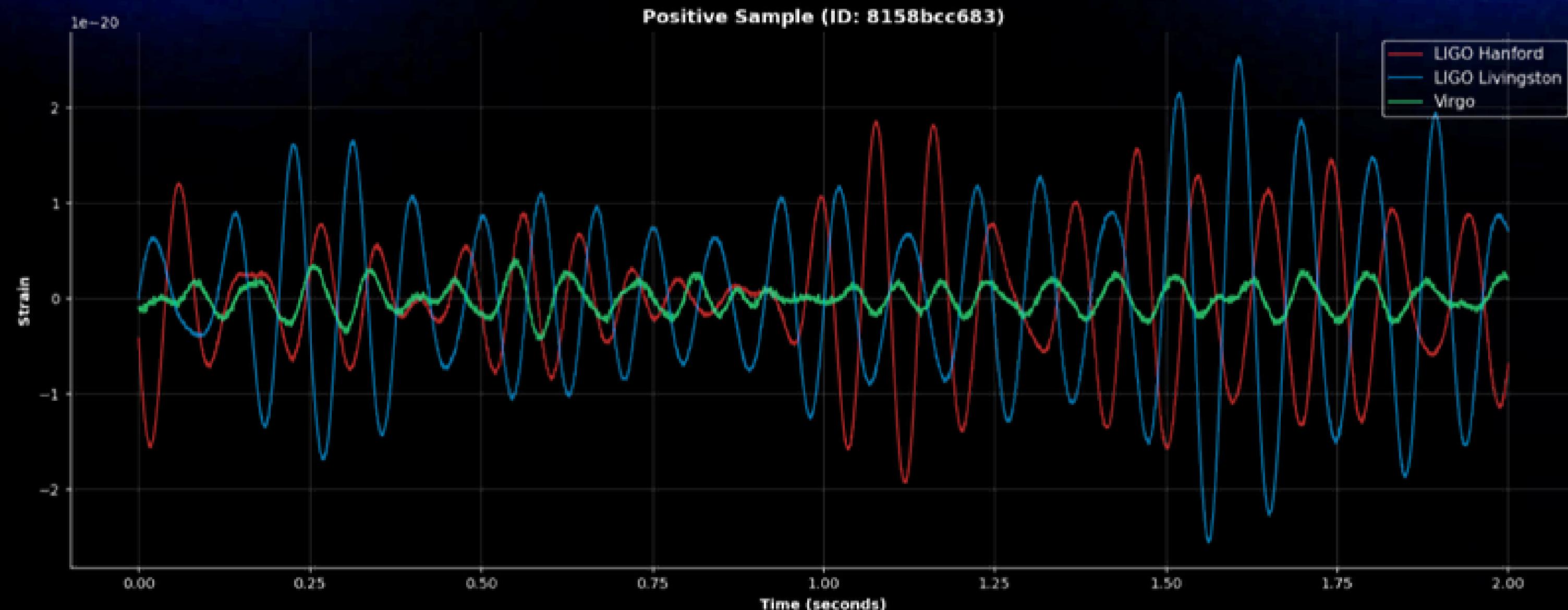
2 giây

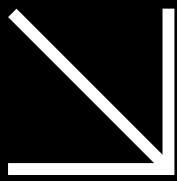
Tần số

2048 Hz

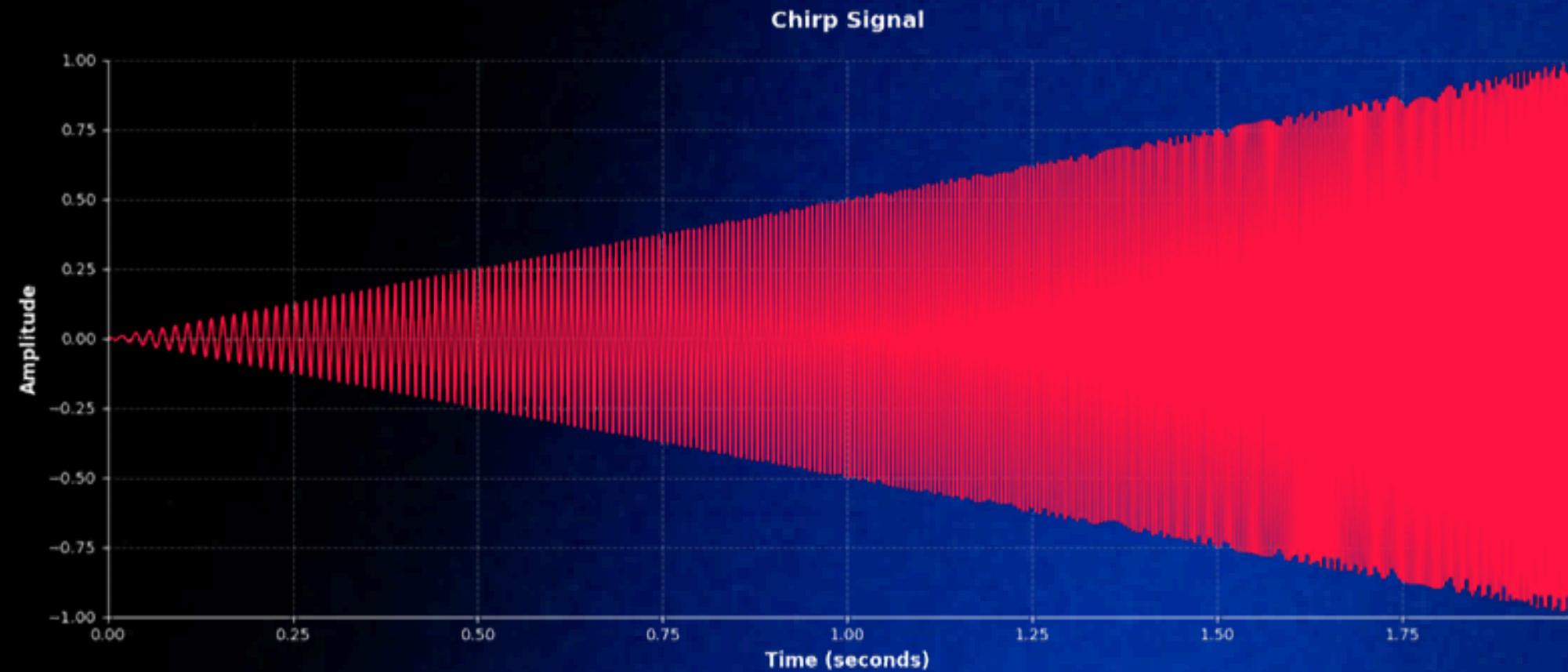
Evaluation Metric

ROC-AUC



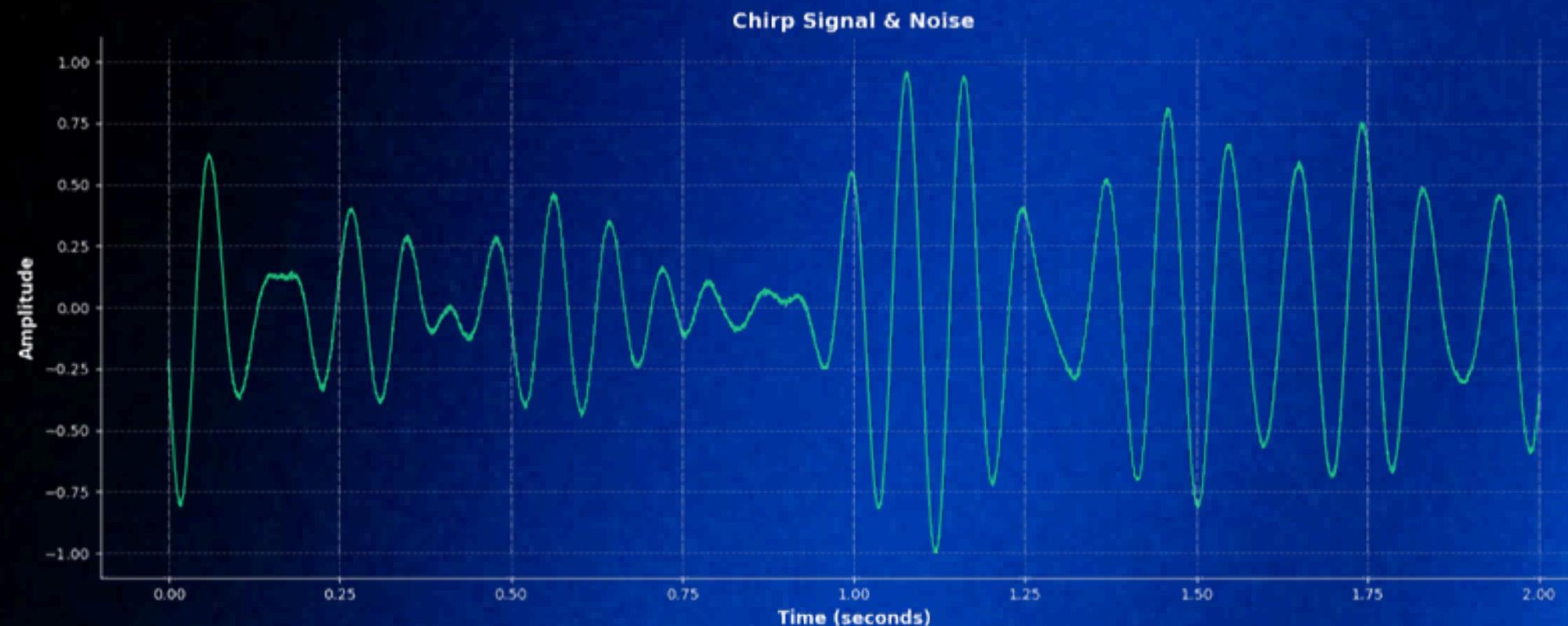


THÁCH THỨC CỦA DỮ LIỆU



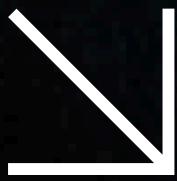
Gravitational Wave

- Đặc tính: **Chirp Signal**.
- Biên độ: Cực nhỏ ($h(t) \sim 10^{-21} \text{ m}$).

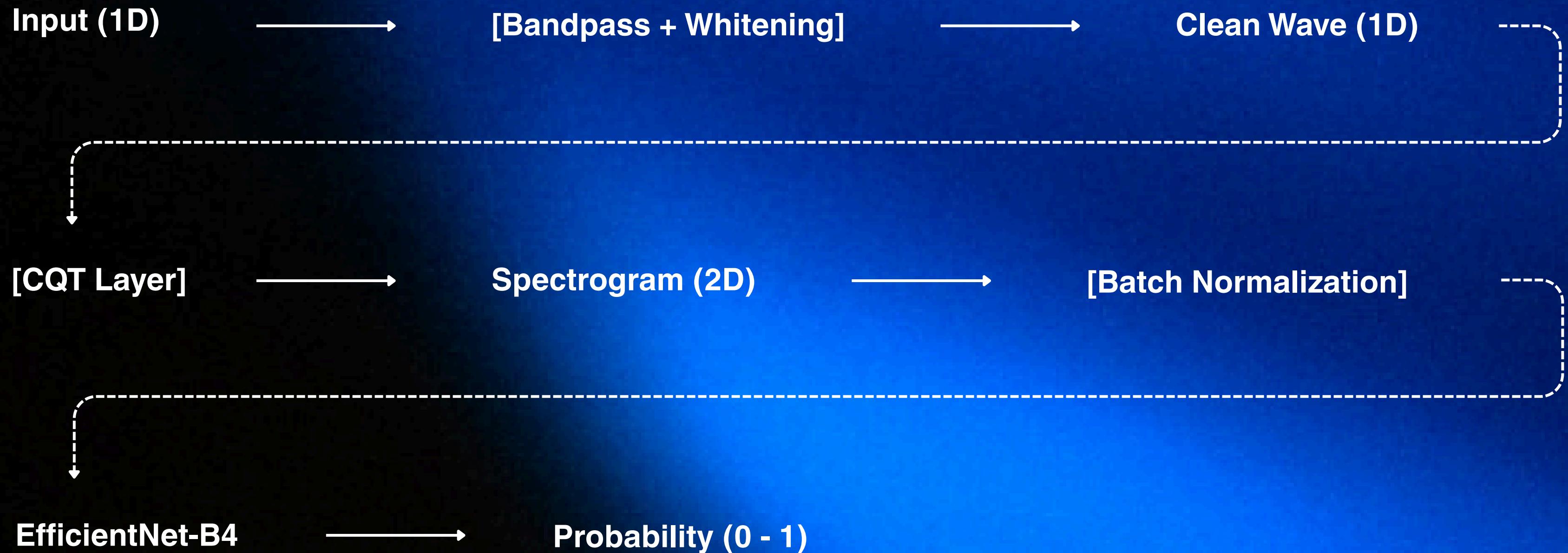


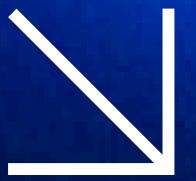
Noise Signal

- Đặc tính: **Non-Gaussian, Colored Noise**.
- Biên độ: Lấn át hoàn toàn Chirp Signal.

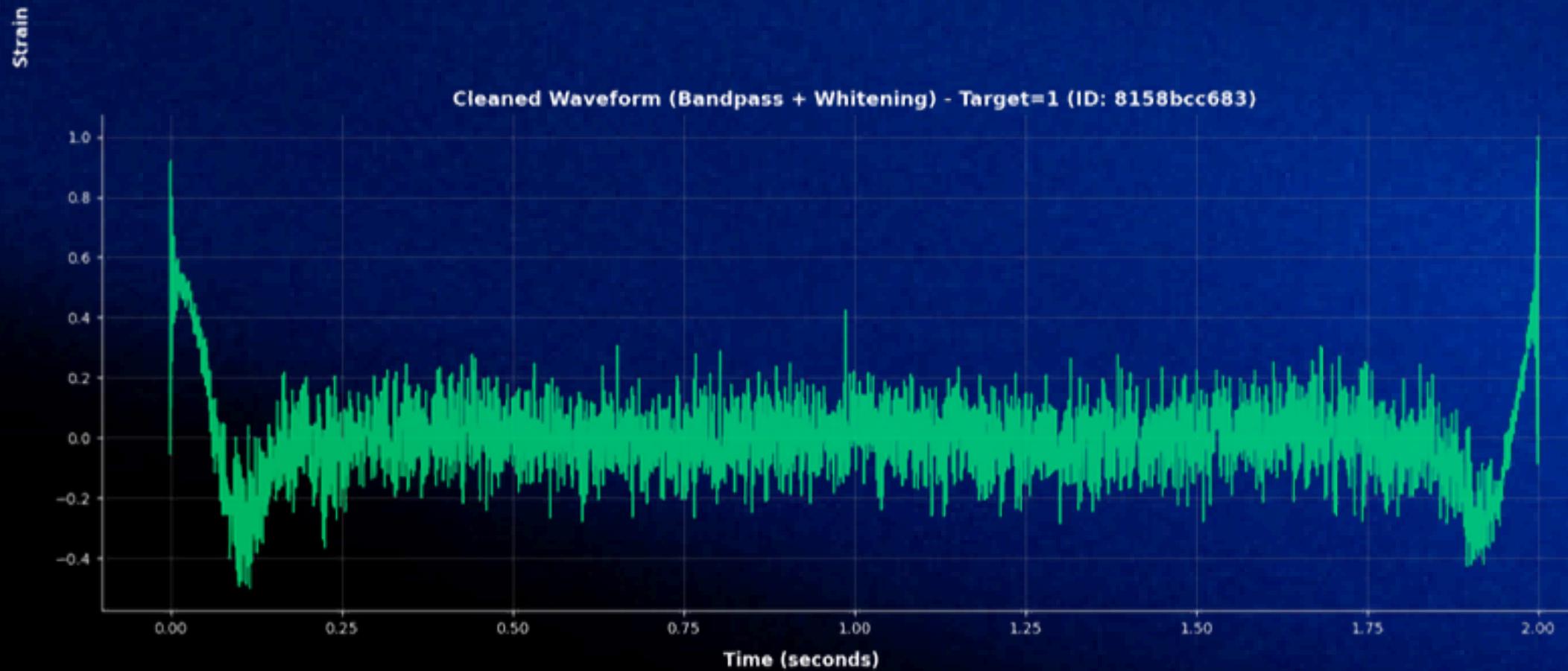
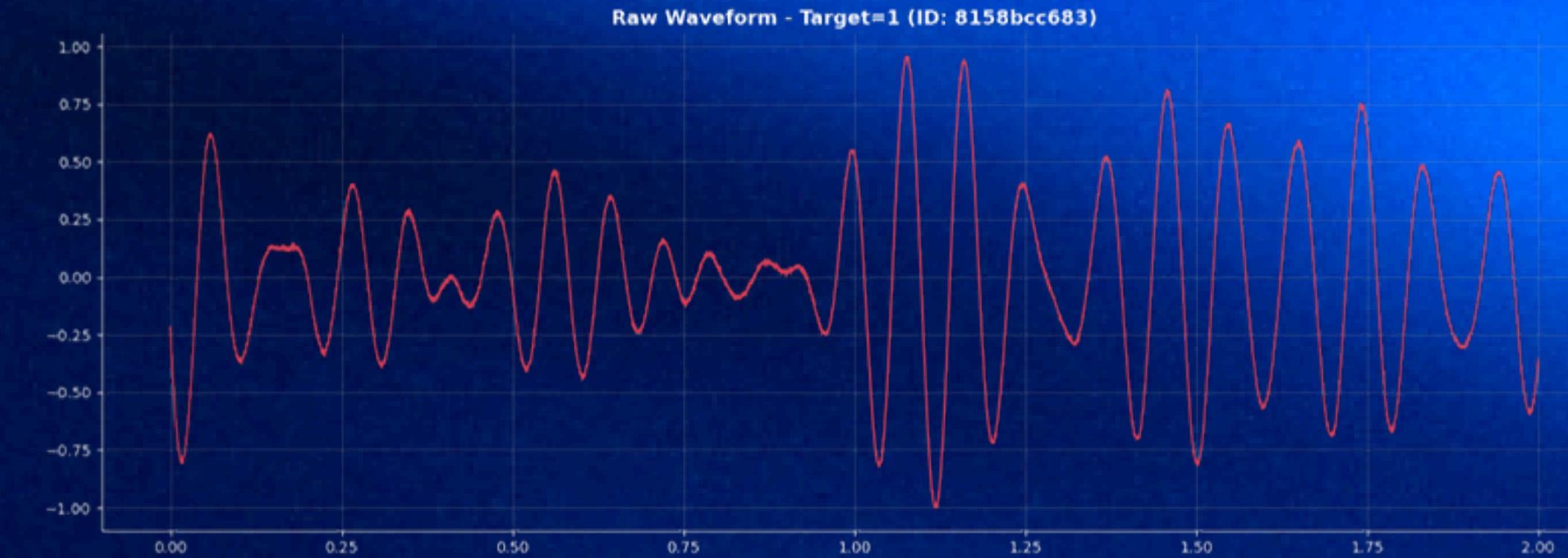


PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN





TIỀN XỬ LÝ TÍN HIỆU



Bandpass Filter:

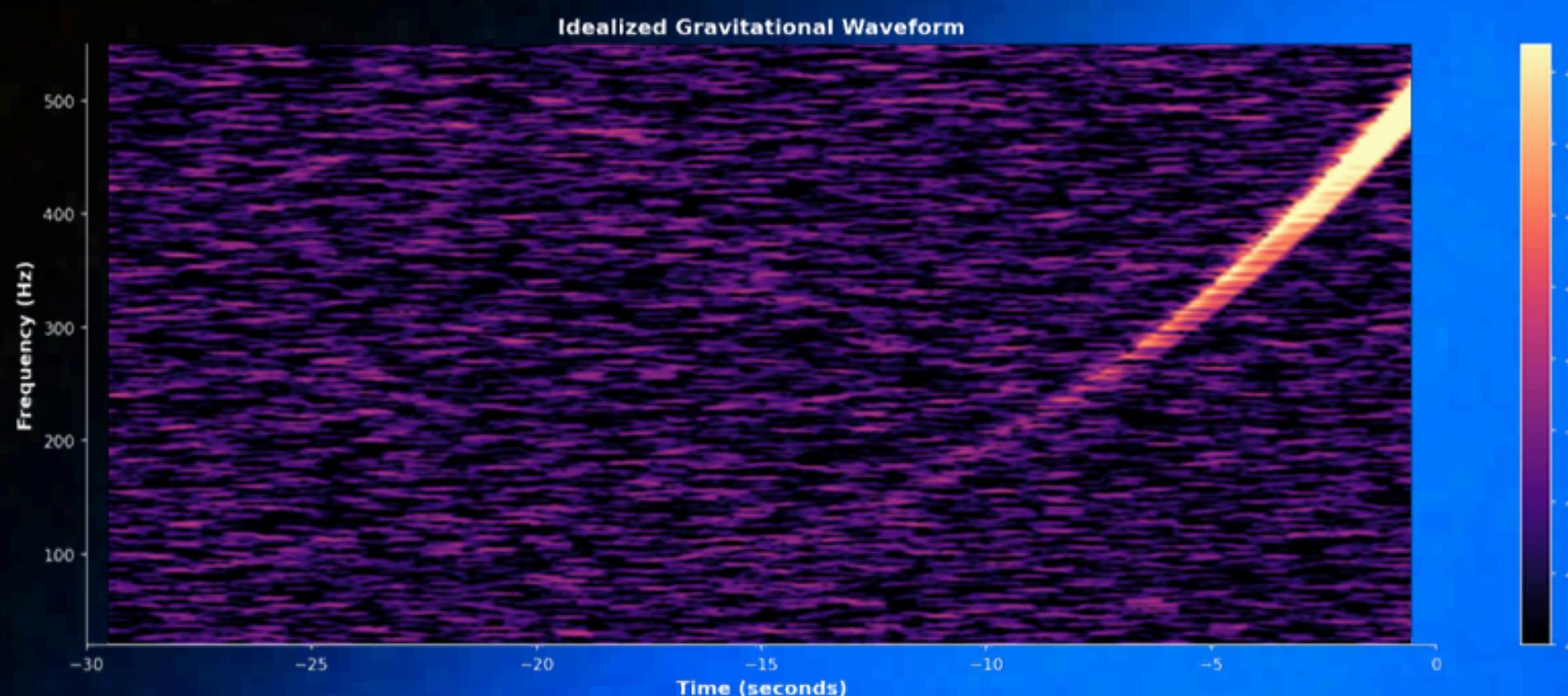
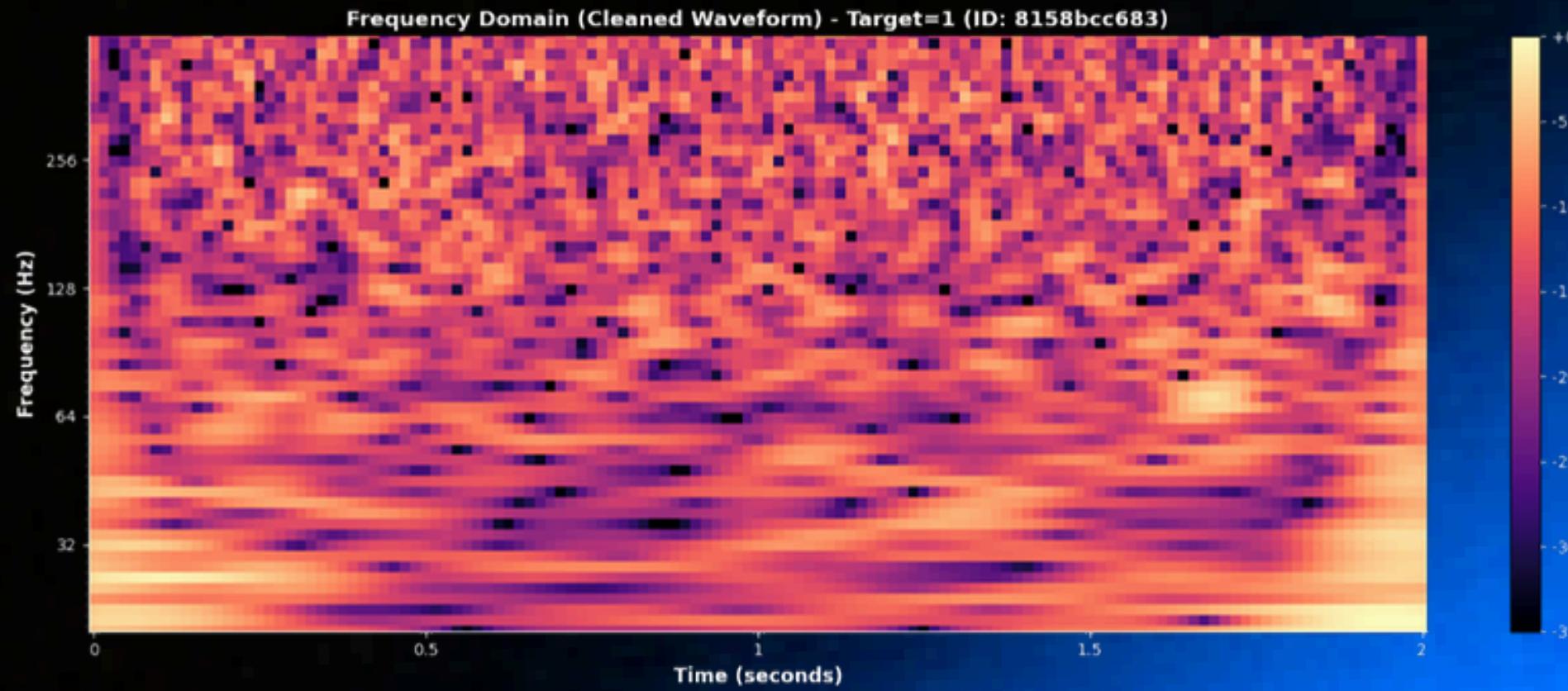
- Lọc nhiễu tần số thấp ($<20\text{Hz}$) và cao tần ($>500\text{Hz}$).

Spectral Whitening:

- Chuẩn hóa mật độ phổ năng lượng (PSD).



CHUYỂN ĐỔI CQT (CONSTANT Q-TRANSFORM)



Đặc điểm:

- Phân giải tần số theo thang Logarit.

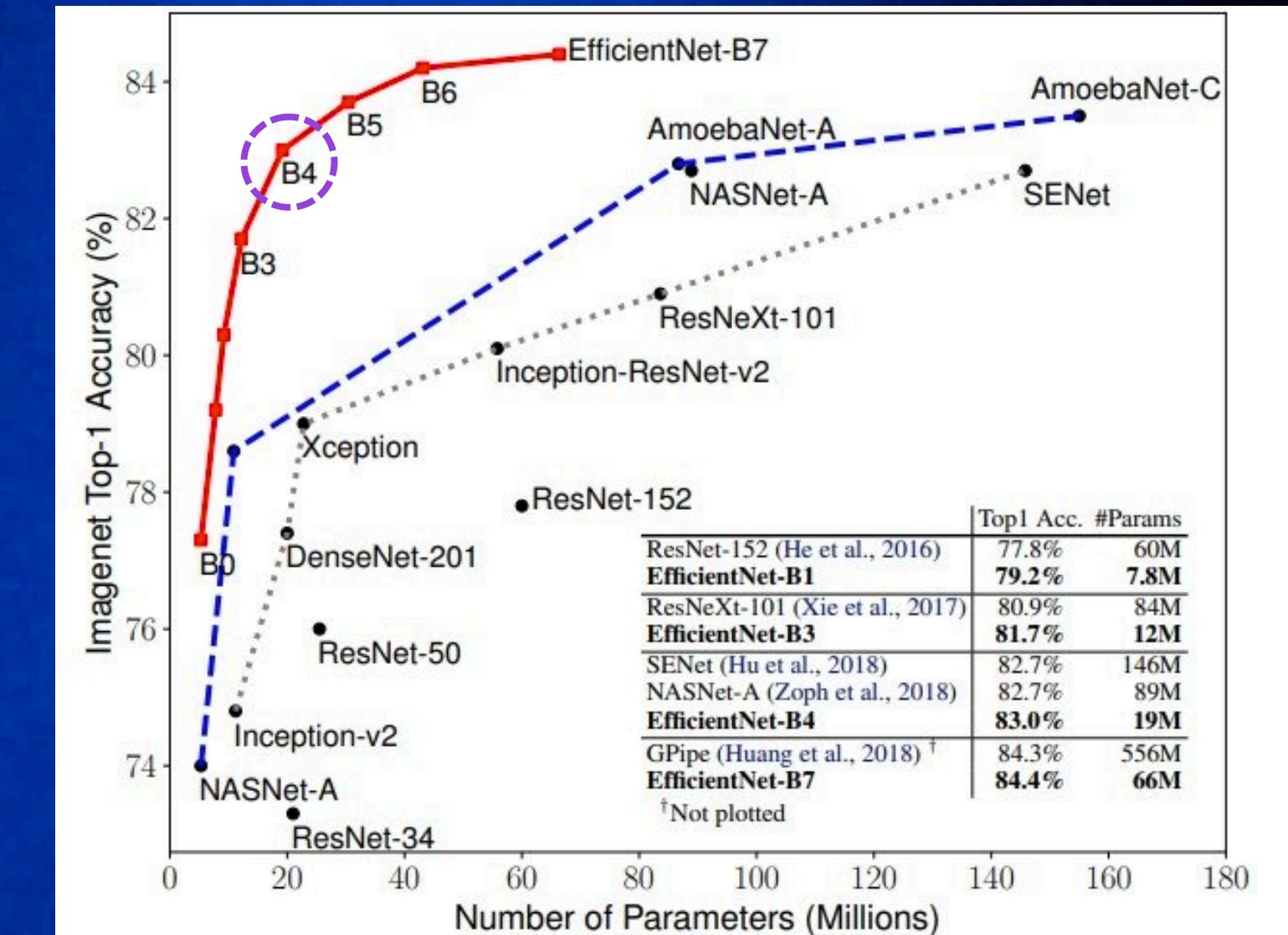
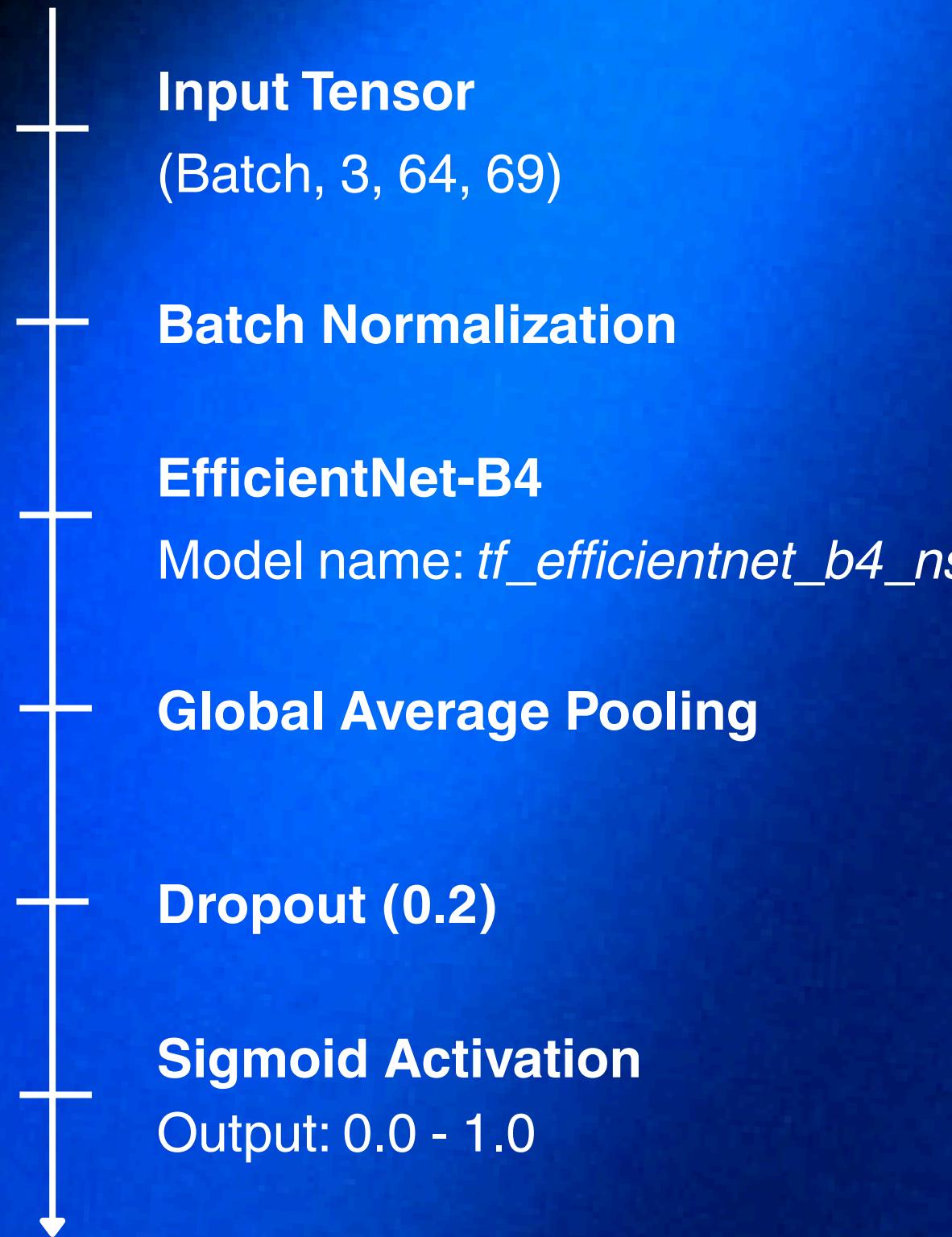
Ưu điểm so với STFT:

- Tối ưu cho tần số thấp.
- Phù hợp đặc tính Chirp.

Triển khai:

- nnAudio (GPU-accelerated).
- On-the-fly (trong quá trình train).

KIẾN TRÚC MÔ HÌNH



Cơ chế Noisy Student:

- Semi-supervised: Chủ động thêm Input noise, Dropout vào quá trình học.

Ưu điểm:

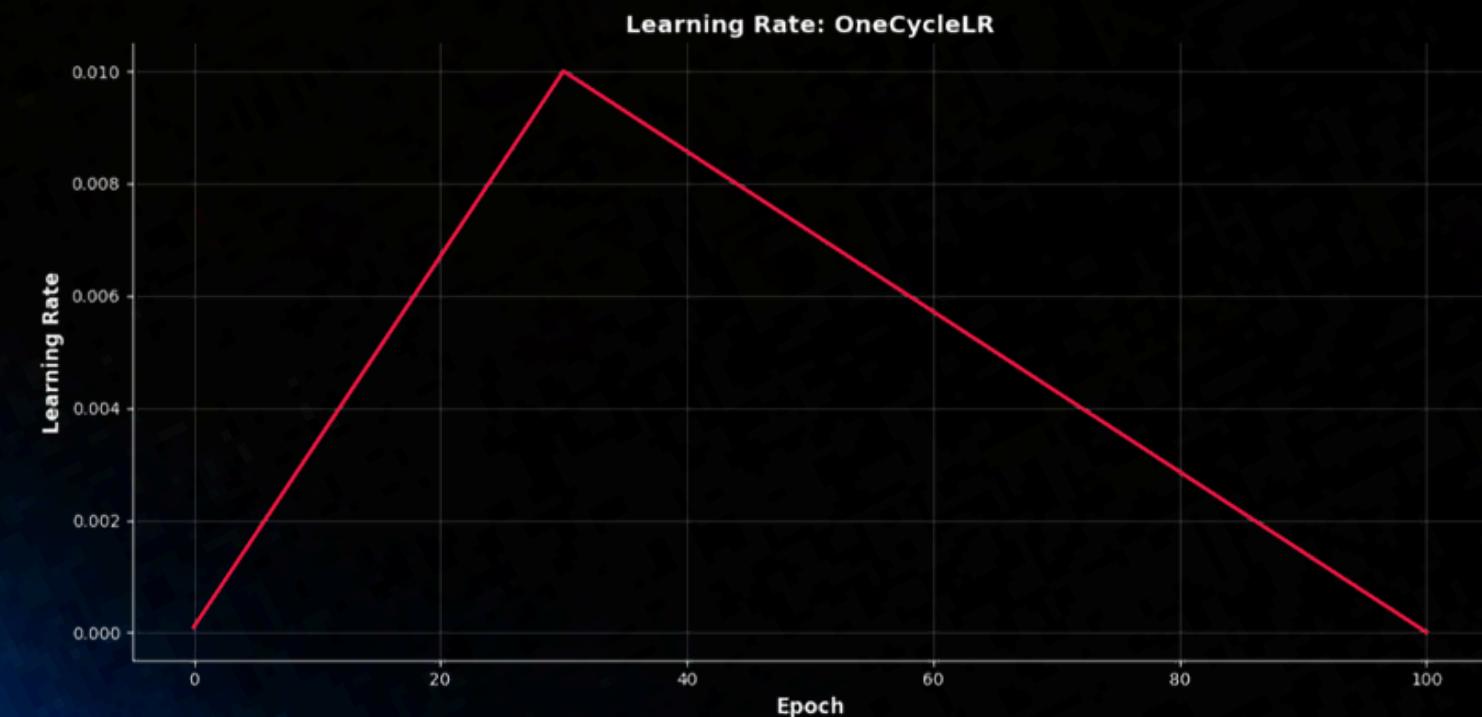
- Tăng cường khả năng kháng nhiễu.



CHIẾN LƯỢC HUẤN LUYỆN

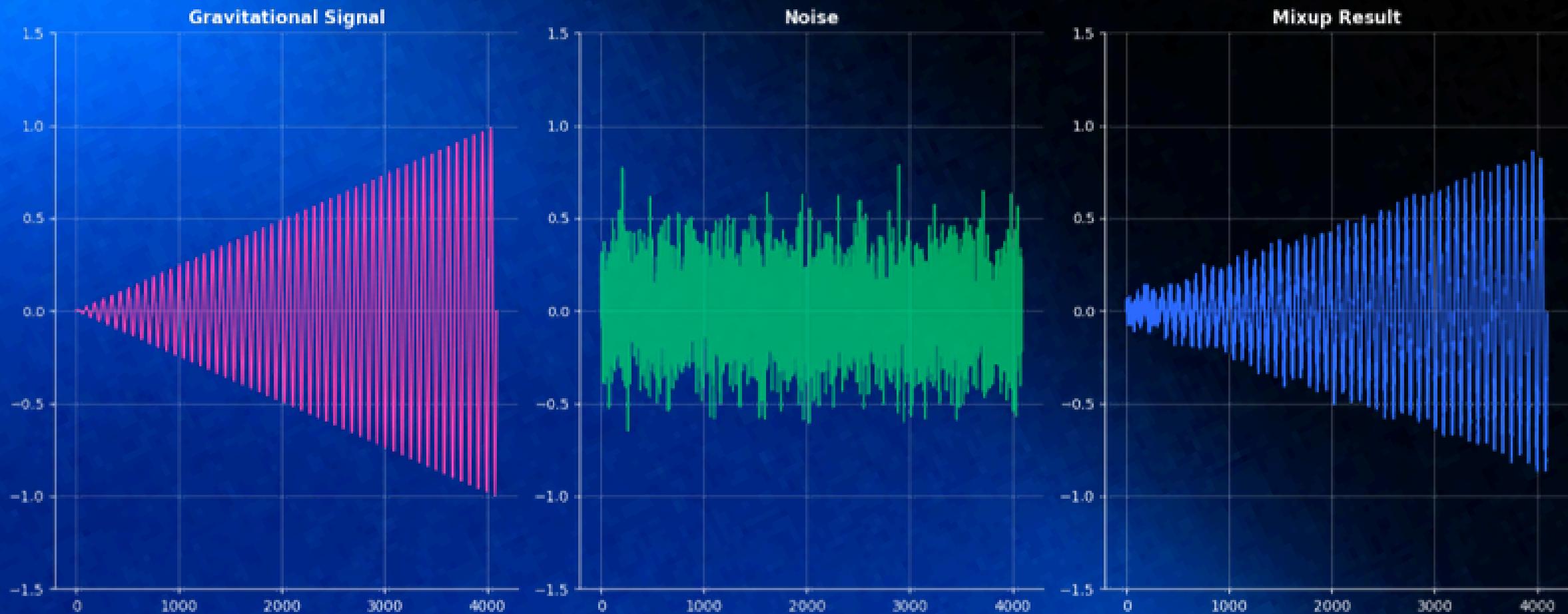
Optimization

- Loss Function: BCEWithLogitsLoss.
- Optimizer: AdamW.
- Scheduler: OneCycleLR.



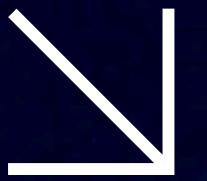
Augmentation

- Time Shift.
- Mixup ($\alpha=0.2$).

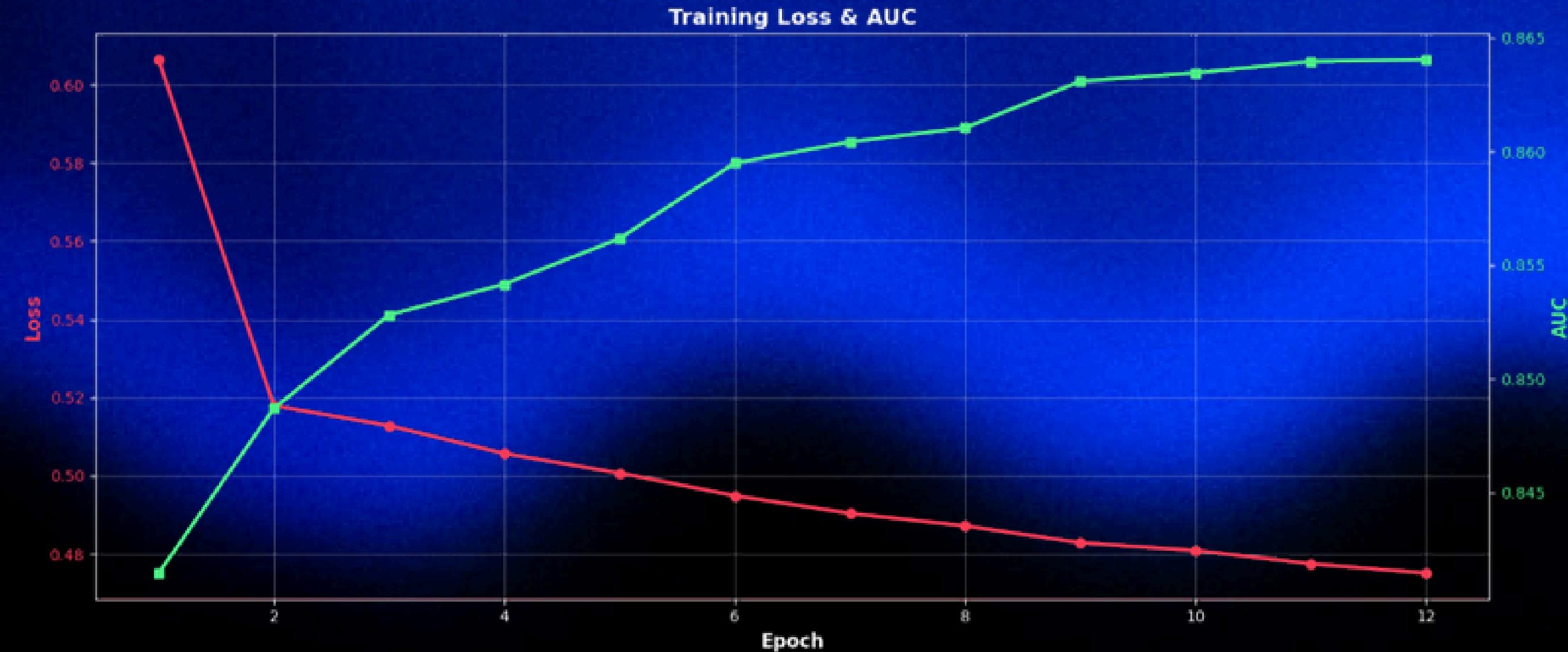


Validation

- Stratified K-Fold (5 Folds)



KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



CV Score
(5-Fold)

0.86405

Public LB
(16% of the test data)

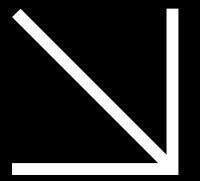
0.86731

Private LB
(84% of the test data)

0.86613

LB Position

807 / 1219



SO SÁNH VỚI TOP 1

	Current Solution	Top 1 Kaggle
Kiến trúc	Pure 2D CNN (CQT + EfficientNet-B4)	Hybrid 1D - 2D (Conv1D Encoders + ResNet34)
Dữ liệu	Dữ liệu cuộc thi (560k mẫu)	Dữ liệu giả lập (3 triệu mẫu)
Mục tiêu	Single - task (Chỉ phân loại 0/1)	Multi - task (Phân loại + Dự đoán SNR/Khối lượng)
Private LB	0.86613	0.88538



HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Hạn chế hiện tại

Dữ liệu thực tế có SNR quá thấp, khiến mô hình khó học được các đặc trưng vật lý tổng quát.

Biến đổi CQT làm mất mát thông tin pha (Phase) của tín hiệu.

Single Model dễ bias hoặc sai số trên nhiều lâ.

Hướng phát triển

Curriculum Learning:

Huấn luyện theo lộ trình từ dễ (SNR cao) → khó (SNR thấp) để mô hình nắm bắt được hình dạng tổng quát của sóng trước.

Hybrid 1D-2D Model:

Nhánh 1D-CNN trích xuất đặc trưng pha từ sóng thô, ghép nối với nhánh 2D-CNN xử lý ảnh phổ.

Ensemble Learning đa kiến trúc:

Kết hợp kết quả từ CNN, LSTM và Transformer để tận dụng ưu điểm của từng loại mạng.

THANKS FOR LISTENING.