



南京大學

NANJING UNIVERSITY

RINC



基于机器学习的水下信号识别研究

- 答辩人: 刘恒 MG1937016
- 导 师: 申富饶 教授



目录

CONTENTS

- 1 研究背景
- 2 提出方法
 - 带帧维度注意力的时延卷积网络 (TDNN-attn)
 - 基于时延卷积的变分自编码器 (VAE-tdc)
- 3 实际应用
 - 水下信号识别系统
- 4 全文总结
- 5 研究生期间工作成果



第一部分

Research Background 研究背景



研究背景 | Research Background

- 辐射噪声：舰船中各种不同的噪声传入水中，与水体共同作用产生的信号。
- 辐射噪声识别任务：通过分析舰船辐射噪声，预测该信号所属**船只类型**
- 应用场景



水下武器研制



船只管理



困难与挑战



1

信号时变问题

水声信道的空间不均匀以及时间随机可变的特性导致了水声信号都是时变信号

2

噪声干扰问题

水域中的多种噪声源以及船只移动导致了辐射噪声中充斥着干扰信号

3

数据规模小问题

采集设备成本高、采集时间周期长导致了采集数据规模较小

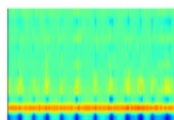


问题解决思路

1 问题难点

数据规模小 信号时变 噪声干扰

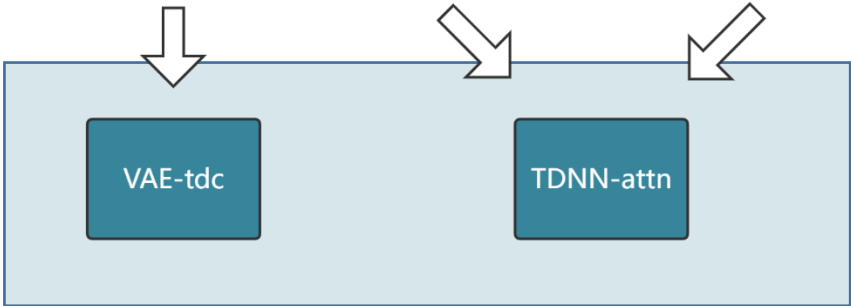
2 算法流程



数据扩充 → 构建特征 → 特征降噪 → 特征分类

渔船
游艇
货船
...

3 提出方法



本文提出的两个算法模型



第二部分

Proposed Methods

提出方法

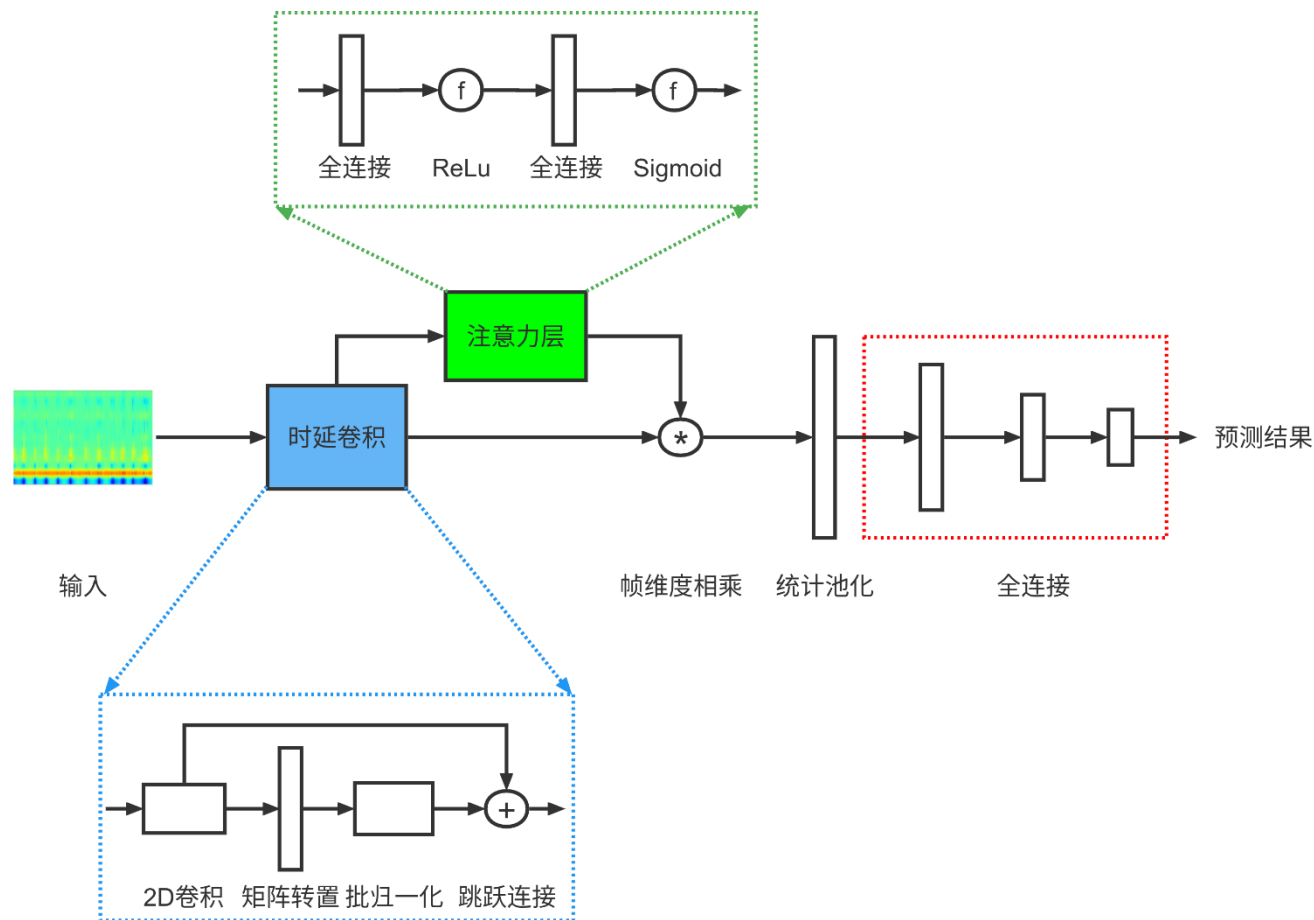
- 带帧维度注意力的时延卷积网络 (TDNN-attn)
- 基于时延卷积的变分自编码器 (VAE-tdc)



带帧维度注意力的时延卷积神经网络

- 时延卷积结构
- 帧维度注意力结构
- 统计池化结构

TDNN-attn着重解决了信号时变和噪声干扰的问题，可以从信号中提取更具有表达力的特征





时延卷积结构

提取具有时序特性的深度特征，比起传统的卷积核设计可以更好地描述辐射噪声信号特点。

■ 时延卷积

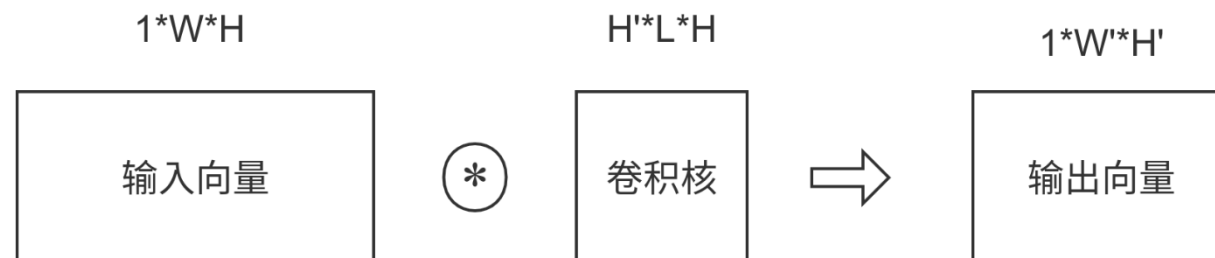
➤ 大尺寸卷积核

可以充分捕捉当前时刻的频域信息

➤ 维度翻转

获得具有时频维度的特征图，方便基

于时频特性设计优化模块

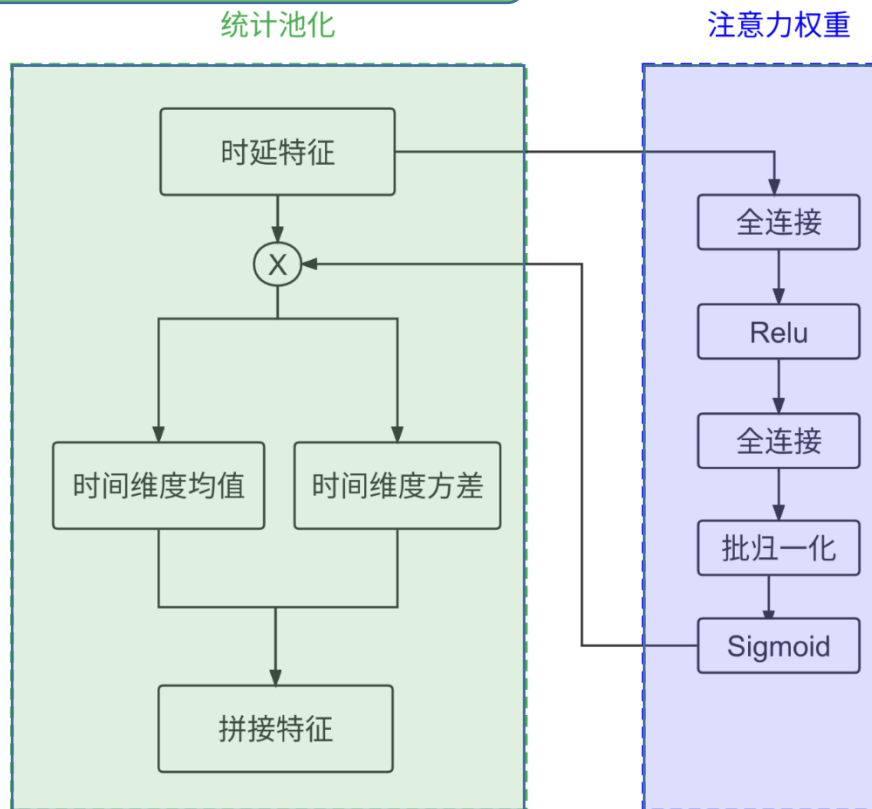




帧维度注意力池化结构

- 帧维度注意力结构
 - 通过全连接网络结构学习时间维度上不同帧特征的重要性权重；
- 统计池化层
 - 计算特征在时间维度的均值和方差，拼接得到池化特征；

充分利用深度特征的统计信息



使用自适应的权重加强有效信号片段特征，削弱无效信号片段特征



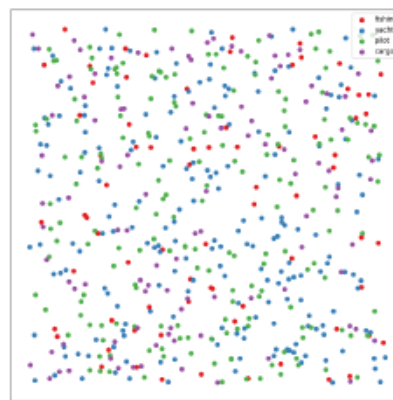
实验验证

对比实验结果

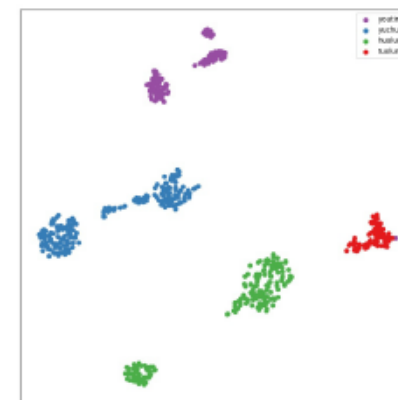
数据集	算法	Accuracy	AUC
数据集 1	MFCC+SVM	45.53%	78.25%
	MFCC+KNN	69.92%	90.81%
	MLP	71.14%	91.31%
	FCN	73.98%	93.14%
	ResNet	72.36%	93.10%
	TDNN-attn	76.83%	94.51%
数据集 2	MFCC+SVM	60.99%	63.62%
	MFCC+KNN	72.24%	78.90%
	MLP	72.47%	81.54%
	FCN	73.33%	83.51%
	ResNet	75.04%	84.61%
	TDNN-attn	76.81%	85.79%

在分类精度和特征可视化两个角度，证明了TDNN-attn方法是有效的

- 和几种辐射噪声识别算法对比，TDNN-attn获得了**最好的识别效果**
- 和时频特征对比，TDNN-attn提取到的时延特征具有**更好的区分度**



(a) MFCC 特征散点图



(b) 时延卷积特征散点图



实验验证

消融实验结果

将各关键模块拆分，证明了本方法中的各个模块是有效和必要的

数据集	池化层	Accuracy	AUC
数据集 1	max-pooling	67.07%	87.93%
	avg-pooling	75.61%	94.14%
	stat-pooling	76.83%	94.51%
数据集 2	max-pooling	72.82%	80.30%
	avg-pooling	75.16%	84.41%
	stat-pooling	76.81%	85.79%

数据集	注意力层	Accuracy	AUC
数据集 1	no	73.58%	93.10%
	yes	76.83%	94.51%
数据集 2	no	75.50%	85.47%
	yes	76.81%	85.79%

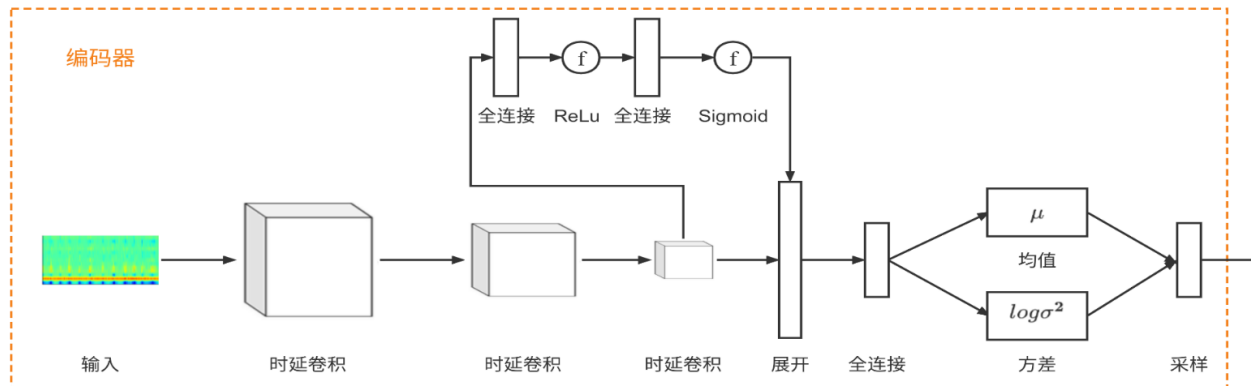
和其他池化结构对比，基于统计池化的深度特征可以更好地区分不同类别辐射噪声

帧维度注意力结构可以有效地降低低质量信号片段对分类结果的影响

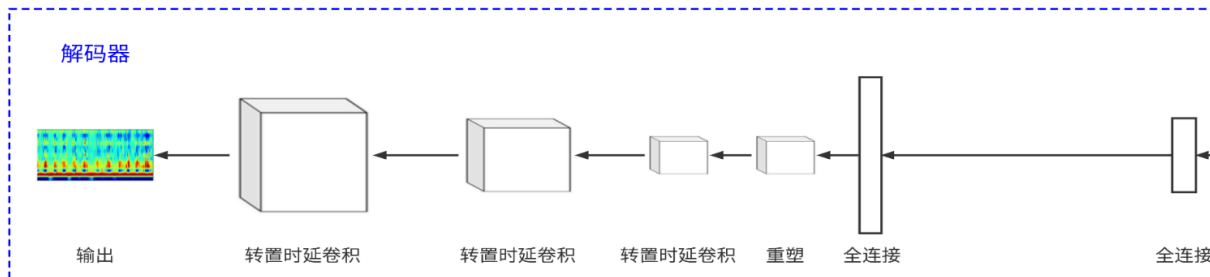


基于时延卷积的变分自编码器 (VAE-tdc)

■ 时延卷积编码器



■ 转置卷积解码器



基于VAE-tdc生成的重构数据可以在保有原始数据特征的同时，引入更多非线性变换



时延卷积编码器

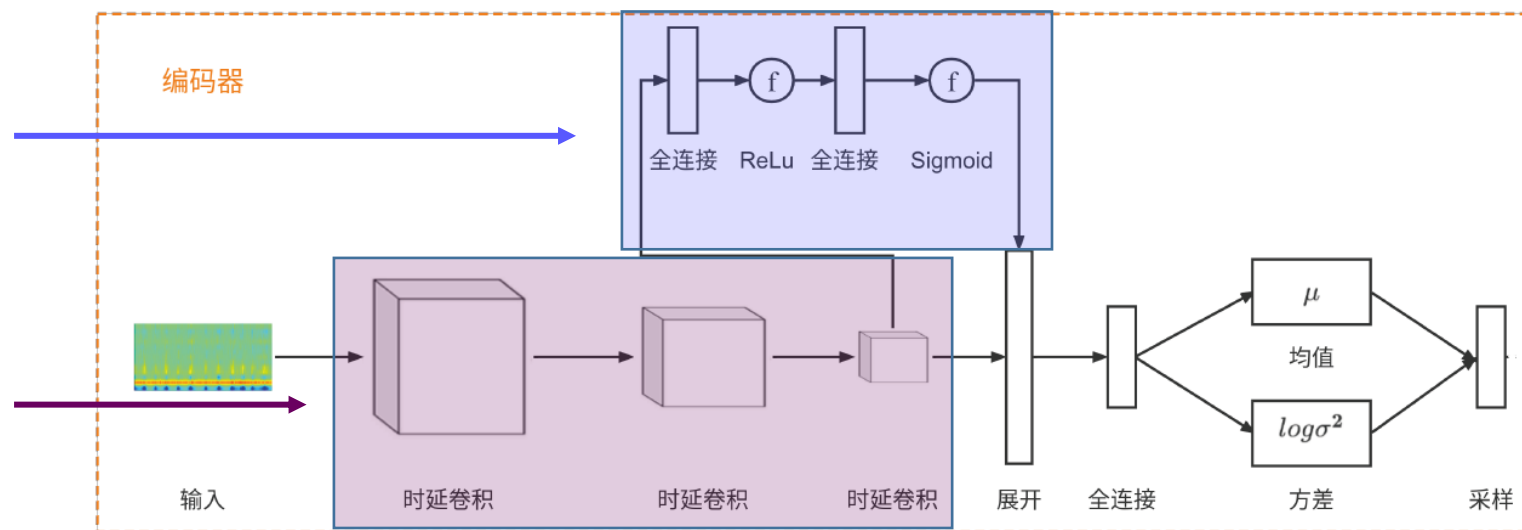
编码器得到输入信号在特征空间的概率分布，通过采样的方式获得特征向量。

➤ 注意力层

减少无效信号片段造成的概率分布偏移

➤ 时延卷积

在时延特征域采样，得到的采样向量可以保留原始数据的时频特性



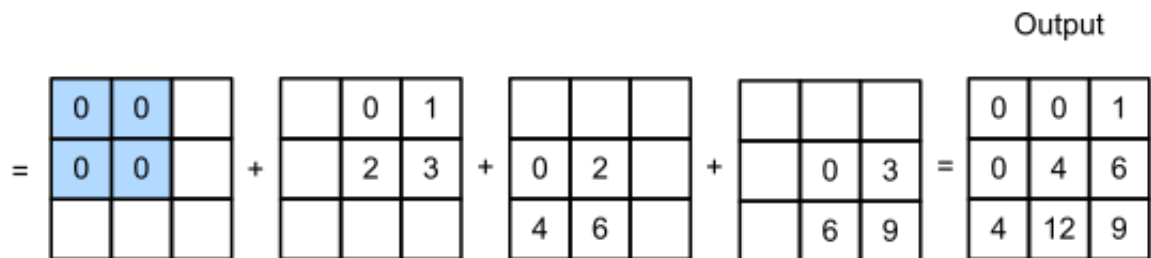
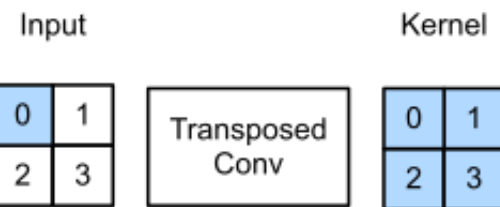


转置卷积解码器

解码器通过将特征向量重映射到输入数据空间，产生重构数据用于数据增强。

■ 转置时延卷积:

- 转置操作;
- 扩散卷积;



转置时延卷积操作逐渐充实了时延特征的时频细节，得到包含丰富变化的重构数据



实验验证

对比实验结果

在不同的数据集上实验，基于VAE-tdc生成的扩充数据可以有效地改善识别模型的分类性能。

数据集	算法	数据增强	Accuracy	AUC
数据集 1	FCN	none	73.98%	93.14%
		mfcc	74.39%	94.06%
		wavelet	74.39%	93.67%
		VAE-tdc	75.20%	93.44%
	ResNet	none	72.36%	93.10%
		mfcc	73.17%	91.81%
		wavelet	74.39%	92.57%
		VAE-tdc	75.61%	94.20%
	TDNN-attn	none	76.83%	94.51%
		mfcc	78.05%	94.80%
		wavelet	78.46%	94.75%
		VAE-tdc	80.90%	95.13%

数据集 2	FCN	none	73.33%	83.51%
		mfcc	75.67%	83.54%
		wavelet	75.39%	84.01%
		VAE-tdc	75.39%	84.27%
	ResNet	none	75.04%	84.61%
		mfcc	75.50%	84.72%
		wavelet	77.16%	85.91%
		VAE-tdc	76.19%	84.68%
	TDNN-attn	none	76.81%	85.79%
		mfcc	78.24%	86.86%
		wavelet	78.58%	87.26%
		VAE-tdc	79.44%	87.88%

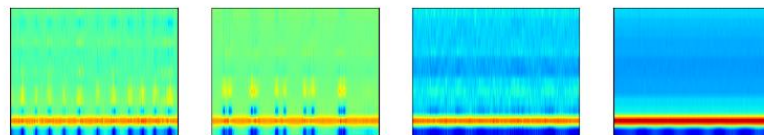


实验验证

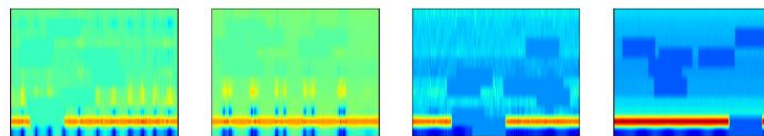
消融实验以及可视化结果

数据集	注意力层	Accuracy	AUC
数据集 1	no	80.14%	94.89%
	yes	80.90%	95.13%
数据集 2	no	79.01%	87.23%
	yes	79.44%	87.88%

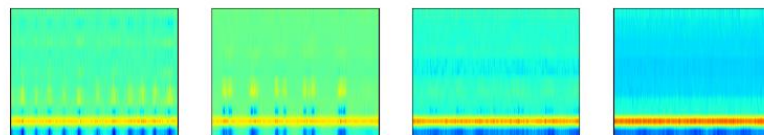
在编码器部分加入帧维度注意力结构，可以缓解特征空间概率分布偏移，从而提高生成数据的质量



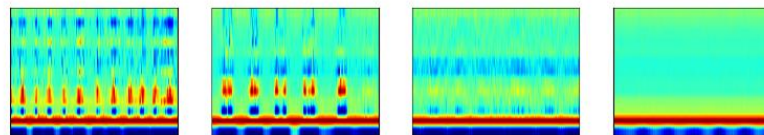
(a) 原始数据



(b) MFCC 特征域增强数据



(c) 离散小波域增强数据



(d) VAE-tdc 模型增强数据

基于VAE-tdc生成的扩充数据，在保有原始数据特征的同时，引入了更多非线性变换



第三部分

Applications

实际应用

- 水下信号识别系统



水下信号识别系统

■ 目的

- 完成信号可视化和存储;
- 提供识别模型训练能力;
- 识别采集到的水下信号;

为水下信号识别任务提供一站式服务





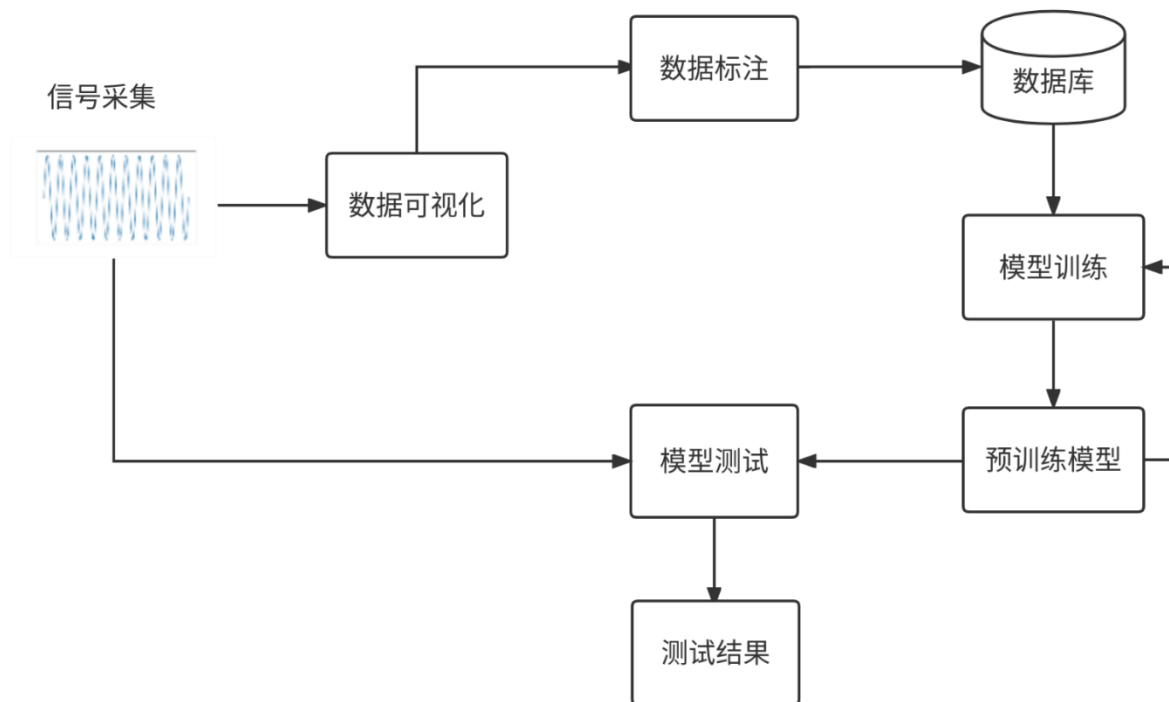
软件系统架构图

■ 前端

- Python+PyQt5

■ 后端

- Python+Pytorch
- MySQL

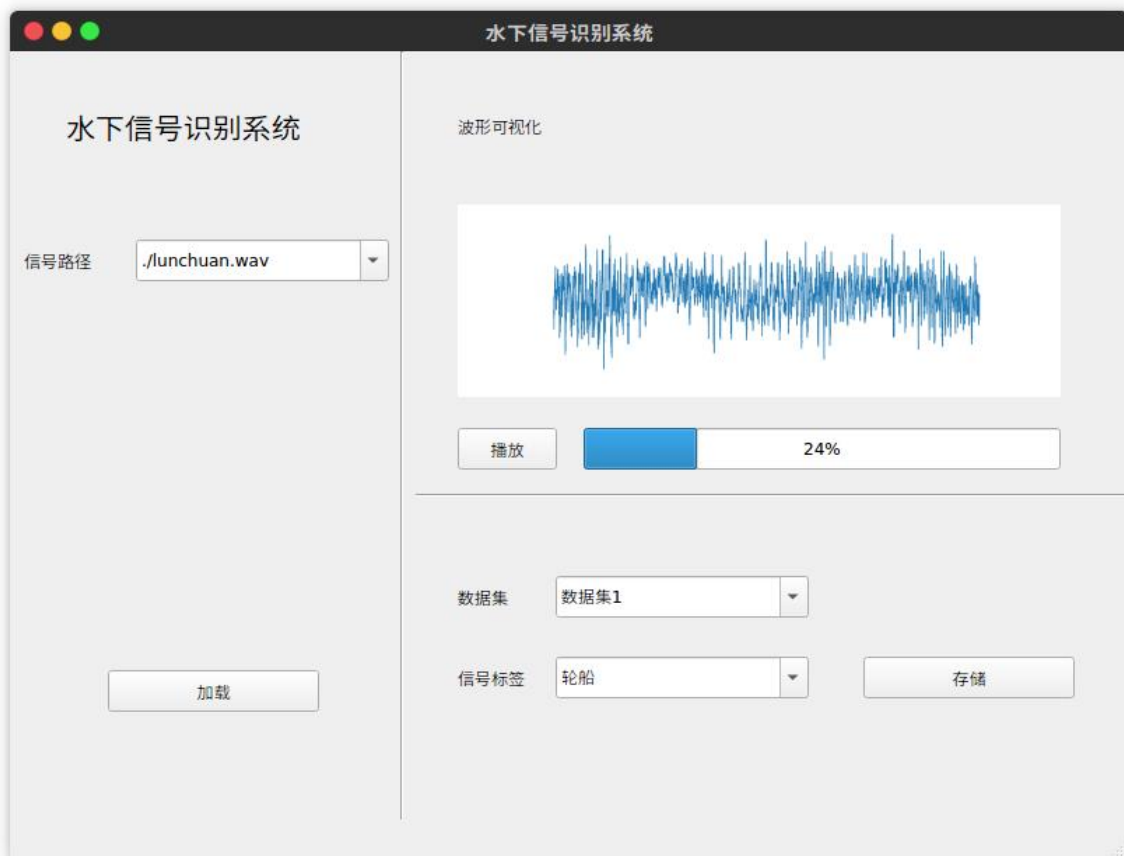
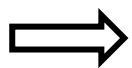




软件系统演示效果

■ 数据读取和存储

- 数据可视化
- 数据存储和入库

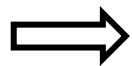




软件系统演示效果

■ 模型训练

- 配置训练选项
- 可视化训练过程

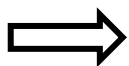




软件系统演示效果

■ 信号预测

- 配置模型参数
- 基于投票法完成类别预测





第四部分

Article Summary 全文总结



带帧维度注意力的时延卷积网络

- 时延卷积构造辐射噪声时频特征
- 帧维度注意力削弱无效信号权重
- 统计池化提取时频特征统计特性

基于时延卷积的变分自编码器

- 利用时延卷积完成输入域到特征域的变换
- 引入帧维度注意力减少了概率分布偏移
- 设计转置时延卷积完成特征解码

水下信号识别系统

- 将所提出的信号识别算法应用其中
- 为水下信号识别提供了一站式服务
- 识别功能准确快速以及泛化性高



第五部分

Work Summary

研究生期间工作总结



学术论文

- 葛轶洲, **刘恒**, 王言, 徐百乐, 周青, 申富饶. 小样本困境下的深度学习图像识别综述. 软件学报. 2021 Apr 21;33(1):193-210.

发明专利

- 申富饶, **刘恒**, 赵健. 《一种基于数据增强的船舶辐射噪声识别方法》.

项目

- 国家自然科学基金 “基于深度感知增量式联想记忆神经网络的信息融合系统研究”



南京大學
NANJING UNIVERSITY



谢谢!

