

声发射 AI 工作站 用户手册



版本: V1.0.1

2025.10.14

目录

1	声发射 AI 工作站	2
2	硬件介绍	3
3	数据格式转换	4
3.1	pra 格式转化为 csv 格式	4
3.2	aed 格式转化为 pcm 格式	5
4	网格标注声源定位 GAL	6
4.1	原理介绍	6
4.2	操作说明	7
5	参数数据模式识别 PPR	11
5.1	操作说明	11
6	波形数据模式识别 WPR	14
6.1	操作说明	14
7	参数数据的聚类声源分类 PCSS	16
7.1	操作说明	16
8	波形数据的聚类声源分类 WCSS	18
8.1	操作说明	18

1 声发射 AI 工作站

声发射技术作为一种重要的无损检测方法,广泛用于材料内部缺陷和结构完整性的评估。声发射 AI 工作站使用了 GPU 加速,提高海量数据的训练效率,同时可以自带清诚开发的 5 大基于人工神经网络深度学习的 AI 功能,满足不同领域的需求。

声发射 AI 工作站集成了先进的深度学习技术与强大的硬件配置,采用 NVIDIA RTX4090,搭载 CUDA12.4 系统软件,加速了神经网络的计算过程,提升训练迭代速度,在深度学习模型训练中可大幅度缩短训练时间。



图 1-1 GPU 加速与无 GPU 加速效果对比图

❖ 5 大基于人工神经网络深度学习的 AI 功能

- **网格标注声源定位 GAL (Grid Annotation Location)**: 无需声源解析定位算法,任意复杂结构网格标注,输入声源到达时间与信号参数即得到声源的精准定位。
- **波形数据模式识别 WPR(Waveform Pattern Recognition)**: 波形数据的训练和识别用户指定的声源模式例如开裂、异物碰撞、铅芯折断等。
- **参数数据模式识别 PPR(Parameter Pattern Recognition)**: 参数数据的训练和识别用户指定的声源模式例如开裂、异物碰撞、铅芯折断等。
- **参数数据的聚类声源分类 PCSS (Parameter Clustering Source Separation)**: 无监督聚类算法声源分类,例如可分出开裂、碰撞、铅芯折断等声源等。
- **波形数据的聚类声源分类 WCSS (Waveform Clustering Source Separation)**: 无监督聚类算法声源分类,例如可分出开裂、碰撞、铅芯折断等声源等。

2 硬件介绍

服务器选用华硕 i9 14900K 深度学习工作站, 带有 i9-14900K 处理器及 DDR5 高频内存, 24 核心 32 线程, 3.2GHz 主频, 工作站至高支持 192G DDR5 5200MHz 高频内存, 充分释放系统潜能, 减少因内存不足引起的卡顿。

2TB M2 大容量固态硬盘, NVMe PCIe4.0×4 高速读写通道, 读取速度 3500MB/s, 写入速度 2800MB/s, 迅速读写, 显著提升系统工作效率。

RTX4090 配合 CUDA 软件实现超高效率运算。CUDA 是用于 GPU 计算的开发环境, 它是一个全新的软硬件架构, 可以将 GPU 视为一个并行数据计算的设备, 对所进行的计算进行分配和管理, 提高数据训练效率。



图 2-1 服务器实物图

表 1 服务器硬件配置表

处理器	i9 14900K
内存容量	192G
显卡	RTX4090 (注: 支持插入两张 RTX4090 的 GPU, 也可根据用户选装 1 块)
硬盘容量	2T 固态硬盘
内存类型	Non-ECC
电源类型	非冗余
硬盘类型	SAS 混合硬盘 SATA
支持 CPU 颗数	1 颗
散热	加强版 360 一体式水冷散热器

3 数据格式转换

目录结构：Execute.dll 是程序公用的 dll，需要放在一起；CLASSIFICATION_PARAM.exe 是参数模式识别程序；CLASSIFICATION_WAVE.exe 是波形模式识别程序；PARAM_CLUSTERING.exe 是参数聚类程序；WAVE_CLUSTERING.exe 是波形聚类程序；SOURCE_LOCATION.exe 是参数定位程序。

名称	修改日期	类型	大小
工具使用说明	2025/6/9 11:34	文件夹	
深度学习格式转换1.8	2025/6/9 11:16	文件夹	
CLASSIFICATION_PARAM.exe	2025/6/13 17:00	应用程序	16,863 KB
CLASSIFICATION_WAVE.exe	2025/6/13 17:00	应用程序	16,866 KB
Execute.dll	2025/6/9 11:03	应用程序扩展	71 KB
PARAM_CLUSTERING.exe	2025/6/13 17:00	应用程序	16,872 KB
SOURCE_LOCATION.exe	2025/6/13 17:00	应用程序	17,082 KB
WAVE_CLUSTERING.exe	2025/6/13 17:00	应用程序	16,881 KB
程序使用说明.docx	2025/6/13 15:53	DOCX 文档	1,037 KB
~\$程序使用说明.docx	2025/6/16 9:08	DOCX 文档	1 KB

图 3-1 文件目录结构

使用 5 大基于人工智能神经网络深度学习的 AI 功能时，首先需要将.pra 和.aed 格式的数据文件转化为 csv 格式和 pcm 格式。

网格标注声源定位 GAL、参数数据模式识别 PPR、参数数据的聚类声源分类 PCSS 功能需要 csv 格式的数据才能正确使用。

波形数据模式识别 WPR、波形数据的聚类声源分类 WCSS 功能需要 pcm 格式的数据才能正确使用。

3.1 pra 格式转化为 csv 格式

打开【深度学习文件格式转换工具】程序点击【U3H 参数分组转 CSV 2】，点击【保存到】选择数据保存路径，点击【开始转换】。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Seconds	Billiseconds	Amp	Power	Rms	Asl	RisingTime	RisingRingdownCount	DurationTime	RisingCount	PeakFrequency	CentroidFrequency
1	1722490083	767001900	99.783142	79660.26	5.153141	67.624804	1767020500	5	30000200	1672	0	0
2	1722490097	555860700	99.891434	80563.284	5.182267	67.768407	1555882000	6	30000200	1461	0	0
3	1722490110	442607400	98.009491	49038.011	4.78679	67.991893	1442629700	6	21402800	1561	0	0
4	1722490124	440977300	99.435181	45701.98	4.088388	66.332574	1441000500	7	27343700	1629	0	0
5	1722490139	530624000	99.279053	52501.692	4.334689	66.546589	1530679300	7	27343700	1482	0	0
6	1722490153	510269900	99.74501	85979.775	5.353642	67.586065	3510286400	5	30000200	1764	0	0
7	1722490174	312257300	99.535034	61813.768	5.04178	68.251067	3312274400	5	24318900	1526	0	0
8	1722490415	628080700	99.856476	83938.228	5.2897	67.950523	3628100200	6	30000200	1589	0	0

图 3-2 CSV 参数格式示例

3.2 aed 格式转化为 pcm 格式

- aed 格式转化为 WAV 格式步骤

打开【深度学习格式转换工具】文件夹→打开【深度学习文件格式转换工具】→点击【U3H 波形转音频】按钮选择 aed 格式的波形数据→点击【保存到】选择 WAV 格式数据保存路径→设置完成后点击【开始转换】。

- WAV 格式转化为 pcm 格式步骤

aed 格式转换为 WAV 格式后，需要将 WAV 格式转化为 pcm 格式：打开【WAV2PCM.exe】程序。点击【Browse】选择已经分好目录的 WAV 格式的波形文件，点击【Convert WAV to PCM】。

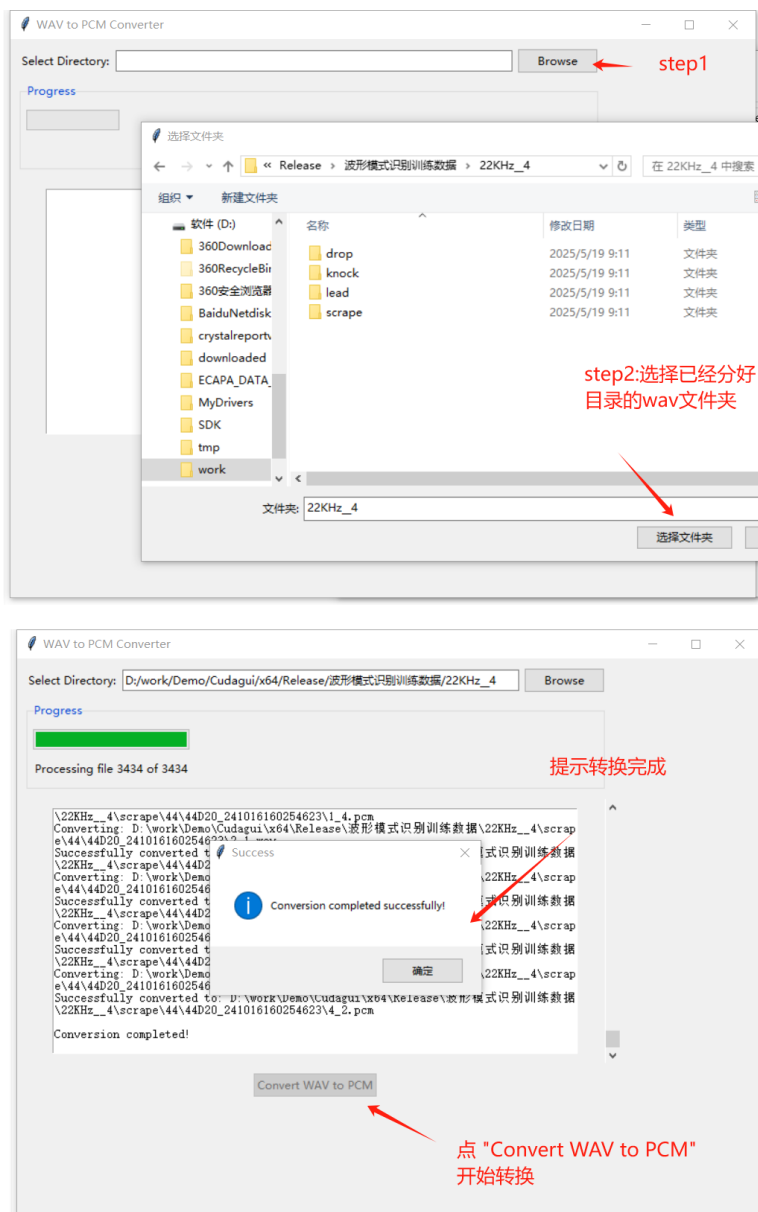


图 3-3 aed 格式转化 pcm 格式

4 网格标注声源定位 GAL

4.1 原理介绍

无需声源解析定位算法，在任意复杂结构网格标注，输入声源到达时间与信号参数即得到声源的精准定位。

实现流程：网格标注与监督训练数据生成—有监督训练模型 GAL 得到 A 网格标注数据的定位模型 ALM—输入实测数据 T 到定位模型 ALM，得到定位结果网格号。

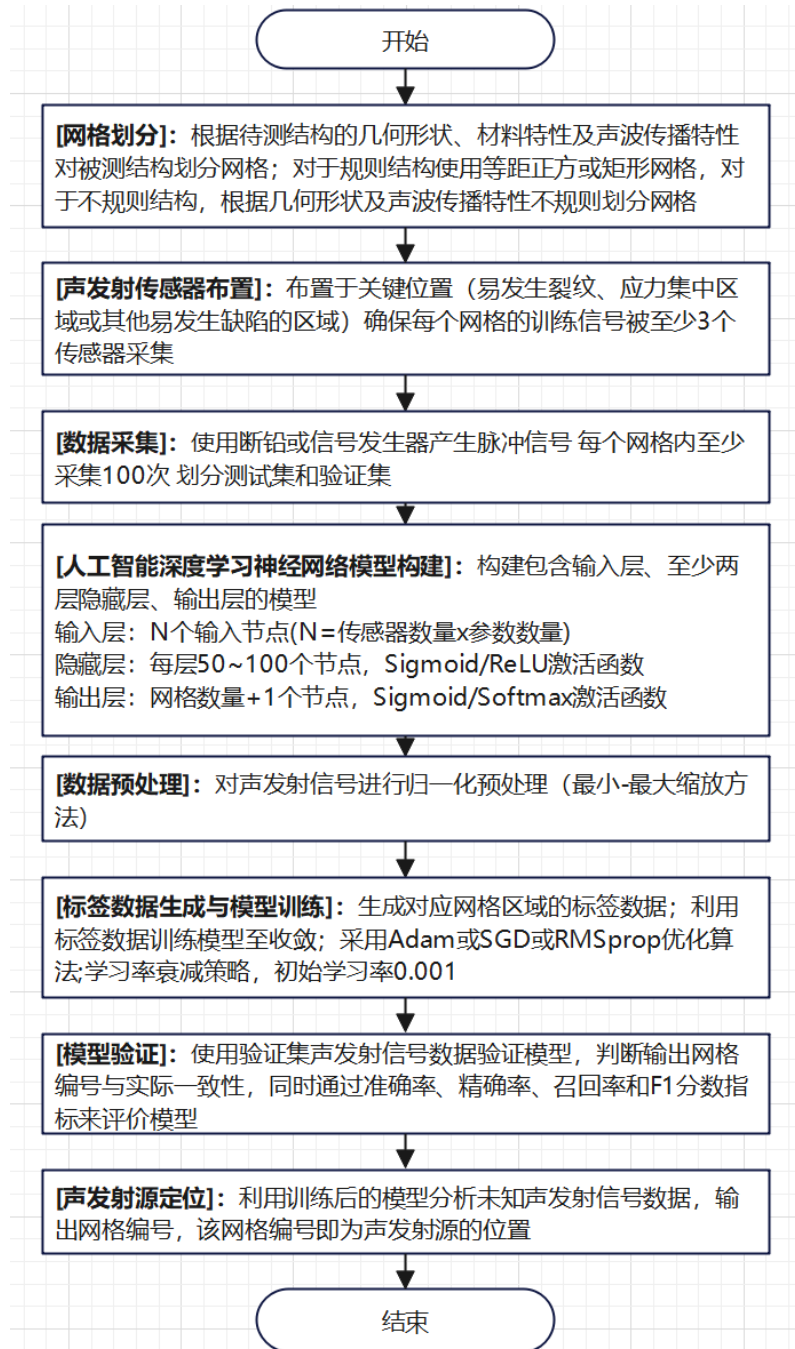


图 4-1 算法流程图

网格标注与有监督训练数据生成

将结构划分为多个网格，声发射传感器布置在结构上。例如，风电叶片划分为 1000 个网格编号 1-1000，10 个声发射传感器大致均匀间距布置在叶片上。

生成有监督训练数据。每个网格人工产生多个声源信号，例如铅芯折断 100 次，10 个声发射传感器采集数据，该数据标注为网格号 N 组数据，例如 1 号网格 100×10 组标注参数数据。1000 个网格依次标注得到 1000 组网格号 1-1000 编号的网格标注数据集 A。

有监督训练模型 GAL 得到 A 网格标注数据的定位模型 ALM

输入实测数据 T 到定位模型 ALM，得到定位结果网格号

例如，1 个月的监测数据输入到 ALM 结果显示网格编号 3、300、800 有定位结果分别为 500 次、80 次、5 次，说明 3 号网格位置有 500 次声源定位信号，300 网格位置 80 次，800 号网格位置 5 次等声源定位信息。

4.2 操作说明

参数定位功能需要电脑配有 GPU 硬件和装有 cuda 软件。cuda 软件安装教程可参考：https://blog.csdn.net/AI_dataloads/article/details/133043869 安装完成后，运行 SOURCE_LOCATION.exe 文件。

网格标注声源定位功能数据格式要求：一个.pra 文件对应一个.csv 文件。

格式转换步骤：

- 1、确保已经关闭 SWAE 上位机程序；
- 2、解压“tools_source_loc”文件，以管理员身份运行【tool_uninstall.bat】，显示“移动了 1 个文件”后，按 enter 键；
- 3、如果确实不知道是否已经安装成功，或者想重新安装，需要先以管理员身份运行点击卸载工具【tool_uninstall.bat】，然后再以管理员身份运行【tool_Install.bat】；
- 4、打开 SWAE 软件，点击【格式转换】，此时显示“文件格式转换-工具已加载”；
- 5、参数勾选“到达时间、通道号、幅度、振铃计数、持续时间、能量、上升计数、上升时间、RMS(mv)、ASL(dB)”；

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	到达时间	通道号	幅度	振铃计数	持续时间	能量	上升计数	上升时间	RMS(mV)	ASL(dB)	
2	22:17:32.5	1	62.2	2558	20016	212.0350	55	401	0.266	45.1	

图 4-2 参数勾选

- 6、点击【选择原始数据】选择单个.pra 文件，点击【设置文件保存路径】，勾选“.csv”，

点击【开始转换】。

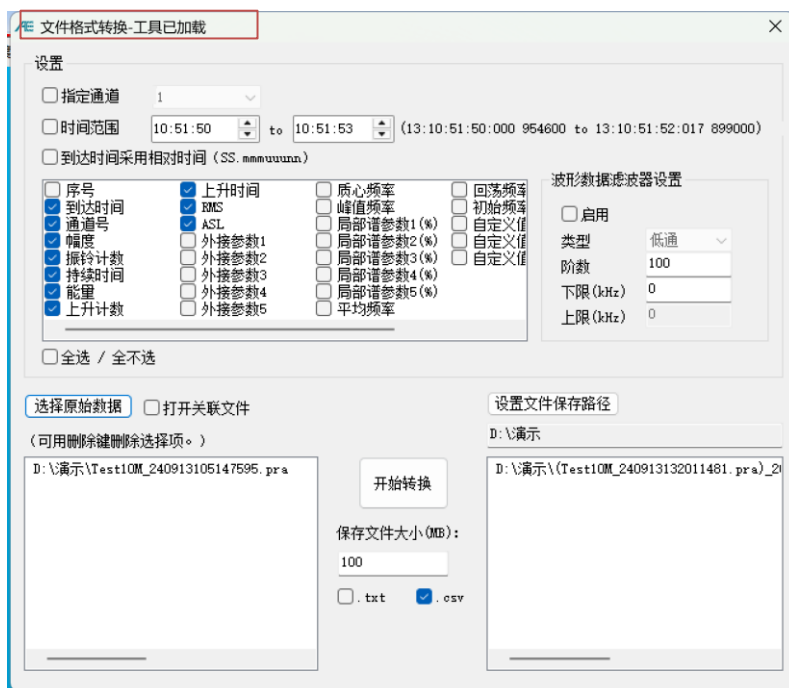


图 4- 3 SWAE 软件-文件格式转换

！注：拓扑结构结构参数说明：不用设置网络拓扑结构，软件自动从训练数据中获取输入输出节点数，另外用于转换的 pra 文件自行保证各个通道都有对应数据，不能丢数据，通道号需要从 1 开始。

训练参数说明：

- **Learning Rate:** 学习率，定义了模型训练过程中参数更新的步长大小，具体表现为在梯度下降等优化算法中，每次迭代时模型参数基于计算出的梯度进行调整的幅度。
- **Max Difference:** 最大时间差，单位：纳秒，设置为两个探头之间最大距离 ÷ 声速。
- **Max Epochs:** 训练次数，训练次数越多，模型识别的正确率越高，但所需的训练时间越长。
- **Loss to Reach:** 损失函数是用来估量模型的预测值 $f(x)$ 与真实值 Y 的不一致程度，当 loss 值小于输入时，停止训练，一般按默认值 0.01。
- **Accuracy to Reach:** 精确率是指模型预测为正类的样本中，实际为正类的比例，当 Accuracy 值大于输入数值时，停止训练，一般按默认值 0.99。
- **Dropout Rate:** 是一种用于减少过拟合的正则化技术，指在训练过程中，随机关闭（将其输出设为 0）一定比例的神经元。Dropout rate 是一个在 0 到 1 之间的值，表示在每个训练步骤中被关闭神经元的比例，一般设置为 0.02。

训练完成后，选择模型路径，选择识别数据路径。点击【Start Prediction】开始识别。

The screenshot shows a 'Prediction' window with two input fields for file paths and a 'Start Prediction' button. The first field is labeled 'Model Path to Load:' and contains the path 'F:\AI_TOOL\LEFT_FIX_TEST_SOURCE_LOCATION\part1\10002\param'. The second field is labeled 'Prediction Directory:' and contains the path 'F:\AI_TOOL\LEFT_FIX_TEST_SOURCE_LOCATION\part2'. Both fields have a 'Browse...' button to the right. The 'Start Prediction' button is at the bottom left.

图 4-6 数据识别路径图

The screenshot shows a terminal window with a list of identification results. Each line contains four values: 'res.index[139]', 'outPutStatus[i][139]', 'margin', and 'entropy'. The 'margin' and 'entropy' values are color-coded: white for high accuracy (above 90%), yellow for lower accuracy (below 90%), and red for misclassified data. The terminal also shows the 'Error Rate: 0/8431' and a prompt to 'press any key to exit!'.

```

res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.830137 entropy:0.602972
loss:0.00148645 score:0.900037
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.847466 entropy:0.577218
loss:0.00136082 score:0.908082
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.82548 entropy:0.612575
loss:0.00151822 score:0.898011
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.83303 entropy:0.606779
loss:0.00147352 score:0.900821
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.83482 entropy:0.603679
loss:0.00146866 score:0.901117
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.831353 entropy:0.599916
loss:0.00147646 score:0.90068
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.807685 entropy:0.644587
loss:0.00166117 score:0.888919
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.834856 entropy:0.603583
loss:0.00146822 score:0.901146
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.812114 entropy:0.653321
loss:0.00165916 score:0.888918
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.843209 entropy:0.575854
loss:0.00137321 score:0.907342
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.81211 entropy:0.653167
loss:0.0016578 score:0.889008
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.835087 entropy:0.60293
loss:0.00146502 score:0.901354
res.index[139] outPutStatus[i][139] margin:0.818733 entropy:0.632249
loss:0.00158702 score:0.893571
done!
Error Rate: 0/8431
press any key to exit!
    
```

图 4-7 数据识别结果图

白色结果表示：正确率为 90%以上。

黄色结果表示：正确率为 90%以下。

红色表示：错误识别的数据。

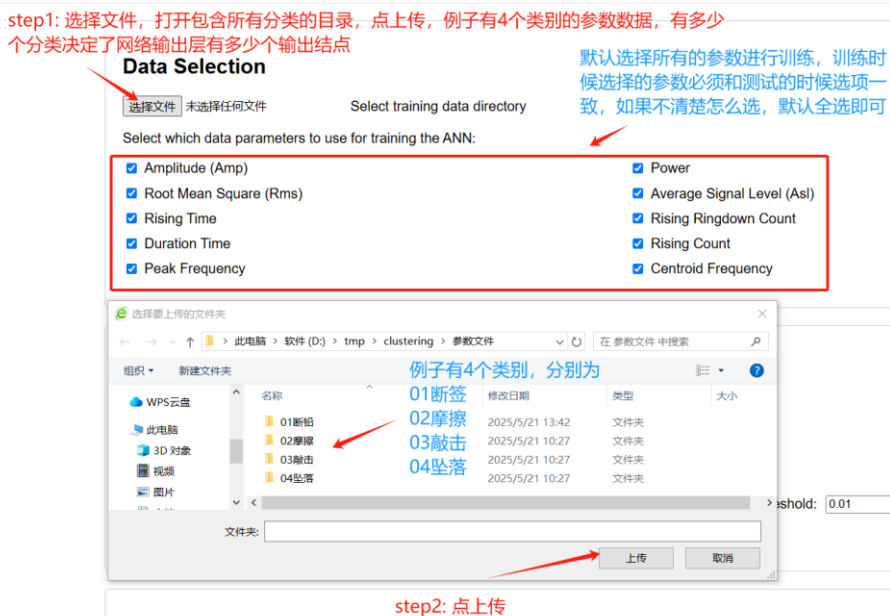
5 参数数据模式识别 PPR

参数数据模式识别需要 csv 格式的数据才能正确使用。具体的操作可以参考 3.1 pra 格式转化为 csv 格式小节的内容。

5.1 操作说明

运行 CLASSIFICATION_PARAM.exe 文件。

点击【Choose Files】选择参数 csv 文件所在的目录，直接下级目录包含以类别标签命名的所有目录分类。



训练参数说明：

隐藏层是位于输入层和输出层之间的一层或多层。其作用是将输入数据转换为更高层次的特征表示。（注：关于配置神经网络隐藏层个数已经隐藏层结点数请参考 <https://aistudio.baidu.com/projectdetail/5413162>）

- **Layer xx:** 隐藏层节点数。隐藏层层数一般设置一层，节点数可按默认设置，节点设置范围：32~64。
- **Epochs:** 训练次数，训练次数越多，模型识别的正确率越高，但所需的训练时间越长。
- **Dropout Rate:** 是一种用于减少过拟合的正则化技术，指在训练过程中，随机丢弃神经节点的概率，一般设置成 0.2 以下。
- **Accuracy Threshold:** 达到什么样准确率后开始停止训练。
- **Loss Threshold:** 损失率降到多少后开始停止训练。

Data Selection

8 files Select training data directory

Select which data parameters to use for training the ANN:

☒ Amplitude (Amp)
☒ Root Mean Square (Rms)
☒ Rising Time
☒ Duration Time
☒ Peak Frequency

☒ Power
☒ Average Signal Level (Asl)
☒ Rising Ringdown Count
☒ Rising Count
☒ Centroid Frequency

Network Configuration

Hidden Layers

Layer 1: nodes

Epochs: Dropout Rate: Accuracy Threshold: Loss Threshold:

图 5-2 训练参数设置

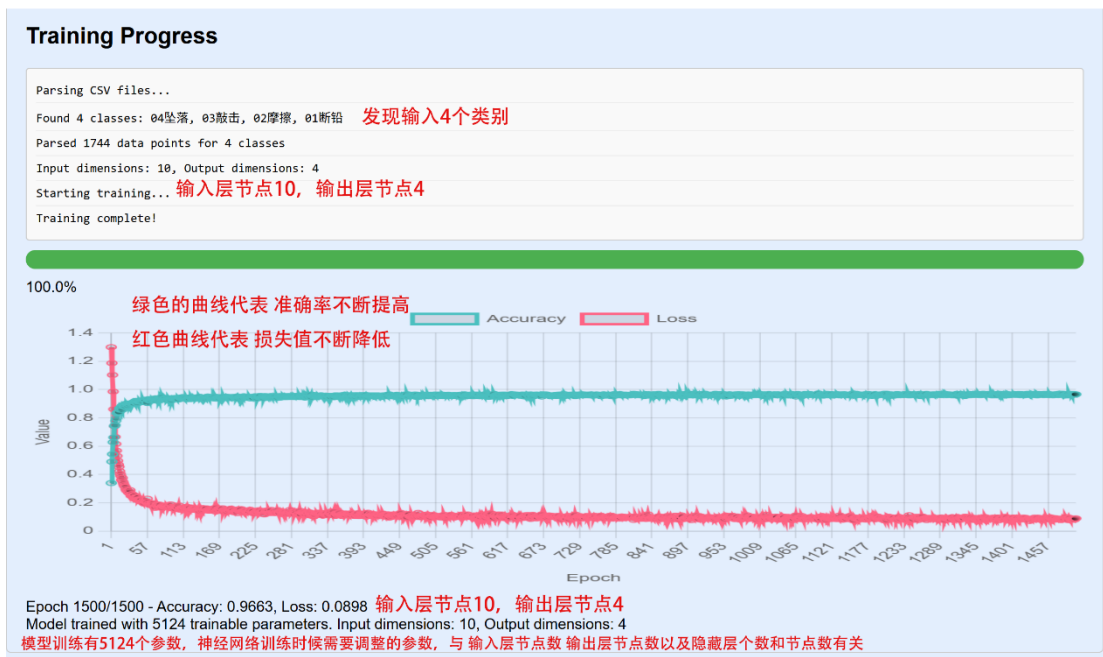


图 5-3 训练完成后模型评估

模型训练完成后, 在 Testing 栏, 点击【Choose Files】上传需要识别的参数数据 (CSV 格式), 上传完数据后, 点击【Test Model】训练模型。



图 5-4 参数识别结果

混淆矩阵说明：以第 1 行第 1 列举例，04 坠落文件夹中，399 个被模型正确识别了，1 个被识别为 03 敲击，4 个被识别为 02 摩擦。

模型下载：

在 Model Management 栏中点击【Export Model】下载训练好的模型。

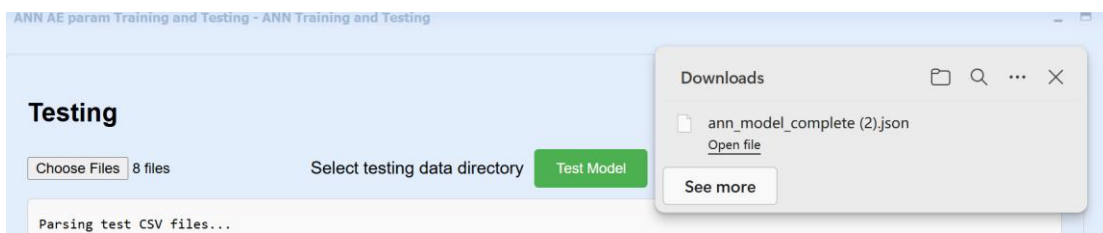


图 5-5 模型下载

点击【Choose Files】选模型，点击【Load Model】即可使用选中的模型进行声发射参数数据识别功能。

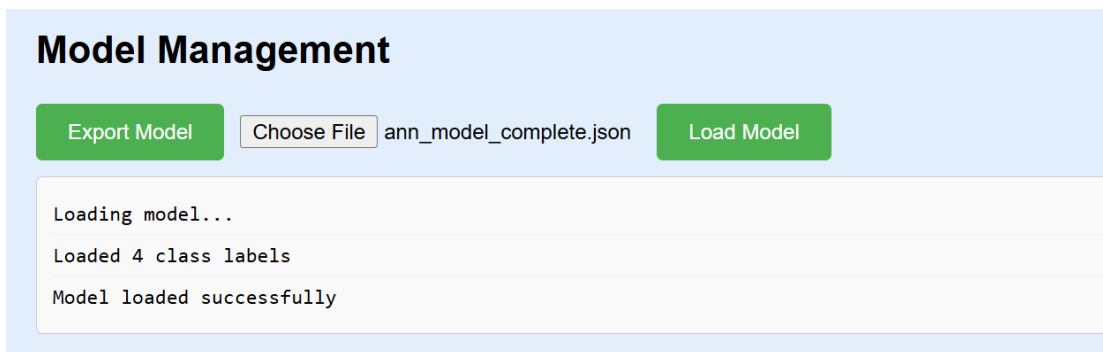


图 5-6 模型导入

6 波形数据模式识别 WPR

波形数据模式识别 WPR 需要 pcm 格式的数据才能正确使用。具体的操作可以参考 3.2 aed 格式转化为 pcm 格式小节的内容。

6.1 操作说明

运行 CLASSIFICATION_WAVE.exe 文件。

点击【Choose Files】选择 pcm 格式的训练数据所在的目录，直接下级目录包含以类别标签命名的所有目录分类。

图 6-1 基于声发射波形的模式识别参数

训练参数说明：

- **Epochs:** 训练次数，训练次数越多，模型识别的正确率越高，但所需的训练时间越长。
- **Accuracy Threshold:** 达到什么样准确率后开始停止训练。
- **Loss Threshold:** 损失率降到多少后开始停止训练。

设置完参数后，点击【Train Model】。

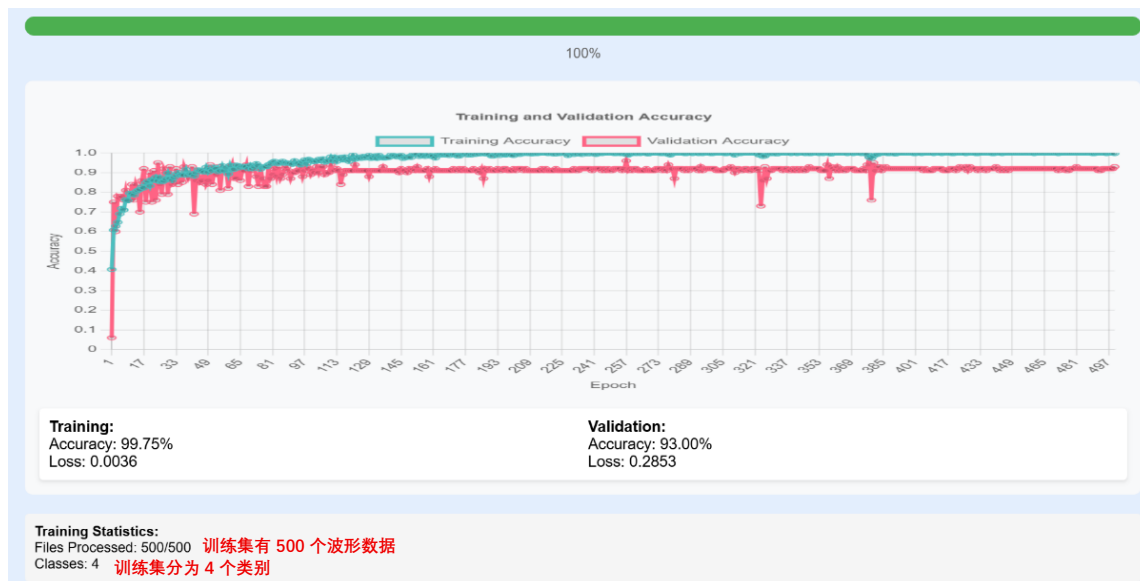


图 6-2 模型训练效果

Training 说明：训练集进行训练时，神经网络参数（网络 节点连接 权重）调整过后，算出来的准确率和损失值；

Validation 说明：训练集在训练前，输入神经网络验证得到的准确率和损失值。

在 Prediction 栏中点击【Choose Files】选择 pcm 格式的测试文件，点击【Make Prediction】。



图 6- 3 波形识别结果

模型下载：在 Model Management 栏，点击【Export Model】下载模型。

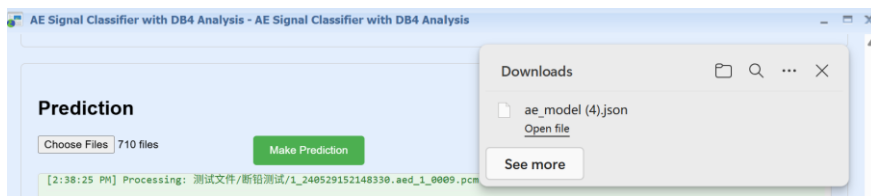


图 6- 4 模型下载

模型调用：在 Model Management 栏，点击【Choose Files】选择模型。点击【Load Model】。

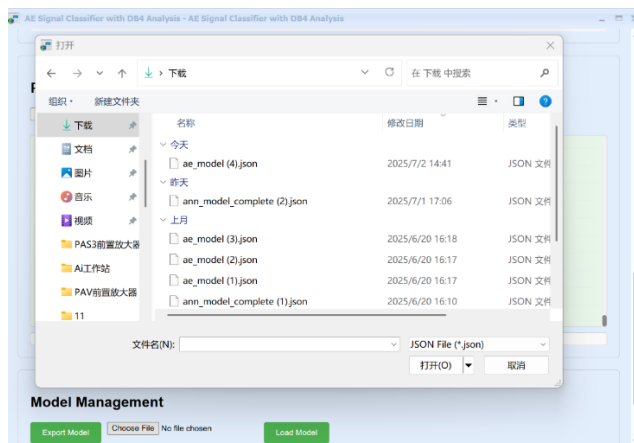


图 6- 5 模型调用

7 参数数据的聚类声源分类 PCSS

参数数据的聚类声源分类 PCSS 需要 csv 格式的数据才能正确使用。具体的操作可以参考 3.1 pra 格式转化为 csv 格式小节的内容。

7.1 操作说明

运行 PARAM_CLUSTERING.exe 文件。

点击【Choose Files】选择 csv 格式的训练数据所在的目录，直接下级目录包含以类别标签命名的所有目录分类。

Clustering Analysis Tool

Data Input

Upload CSV Files: 8 files
Number of Clusters:

图 7- 1 基于声发射参数的聚类识别参数

训练参数说明：

- Number of Clusters: 数据需要分多少类别。

设置完参数后，点击【Run Clustering】。

Clustering Results

Total data points: 1680 共有 1680 个参数数据

Number of clusters: 4 分为 4 类

Iterations: 8 聚类算法迭代 8 次后，达到最优解

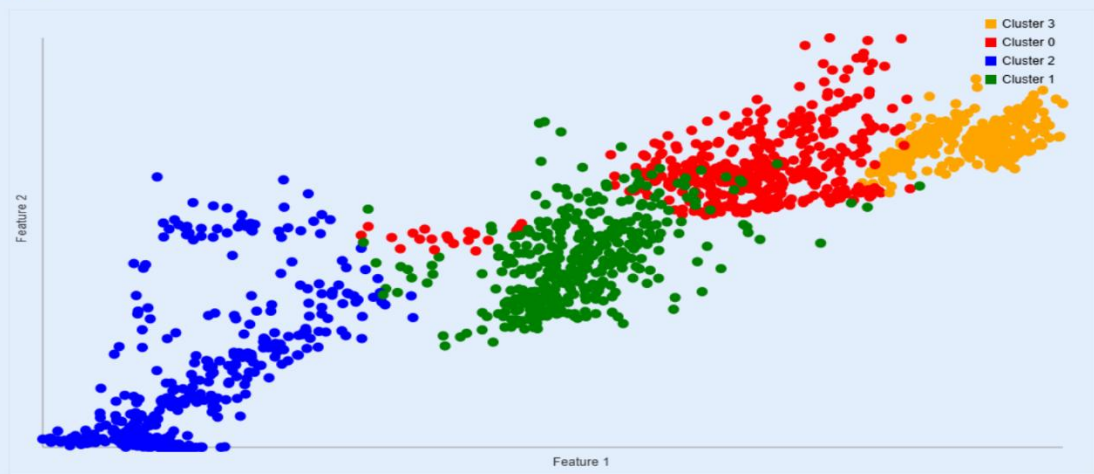


图 7- 2 参数聚类结果总览图

Data Points		
Cluster 1 聚类 1 中，大部分是 04 坠落，占比 98.5%，少部分是 03 敲击		
Label	Count	Percentage
04坠落	398	98.5%
03敲击	6	1.5%
Cluster 2		
Label	Count	Percentage
02摩擦	443	99.1%
04坠落	4	0.9%

图 7- 3 按簇划分的标签分类

不同颜色代表不同的聚类，分类后，用户可根据分类详细结果，在.csv 文件中进行人工挑选，按类别放置并打标签。

Data Points									
聚类 1		文件名称	数据按照 csv 文件中的序号排列						
401	Cluster 1	0000_33C01_240730132421215.pra.csv	04坠落	100.0000	789686.5744	16.2248	81.3476	2007119500.0000	14.0000
402	Cluster 1	0000_33C01_240730132421215.pra.csv	04坠落	100.0000	745831.9048	15.7678	81.0084	2258339300.0000	15.0000
403	Cluster 1	0000_33C01_240730132421215.pra.csv	04坠落	100.0000	805668.3226	16.3881	81.4683	2564074300.0000	16.0000
404	Cluster 0	0000_44B01_240730101616563.pra.csv	03敲击	97.8731	387927.9711	11.3717	78.2768	2005476400.0000	15.0000
405	Cluster 0	0000_44B01_240730101616563.pra.csv	03敲击	98.0438	387480.0932	11.3652	78.1112	908407100.0000	39.0000
406	Cluster 0	0000_44B01_240730101616563.pra.csv	03敲击	98.7362	328622.3182	10.4665	76.9587	1754557900.0000	36.0000
407	Cluster 0	0000_44B01_240730101616563.pra.csv	03敲击	98.6413	365173.8207	11.0332	77.9165	1501761200.0000	69.0000

图 7- 4 所有数据点的分类

8 波形数据的聚类声源分类 WCSS

波形数据的聚类声源分类 WCSS 需要 pcm 格式的数据才能正确使用。具体的操作可以参考 3.2 aed 格式转化为 pcm 格式小节的内容。

8.1 操作说明

运行 WAVE_CLUSTERING.exe 文件。

在 Data Input 栏，点击【Choose Files】选择参数 pcm 文件所在的目录，直接下级目录包含以类别标签命名的所有目录分类。

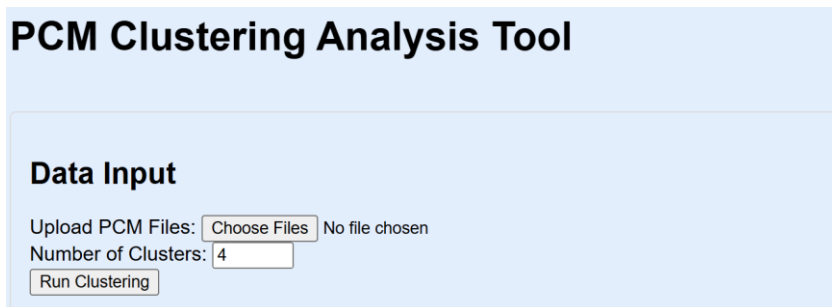


图 8- 1 基于声发射波形的聚类识别参数

训练参数说明：

- **Number of Clusters:** 数据需要分多少类别。

设置完参数后，点击【Run Clustering】。

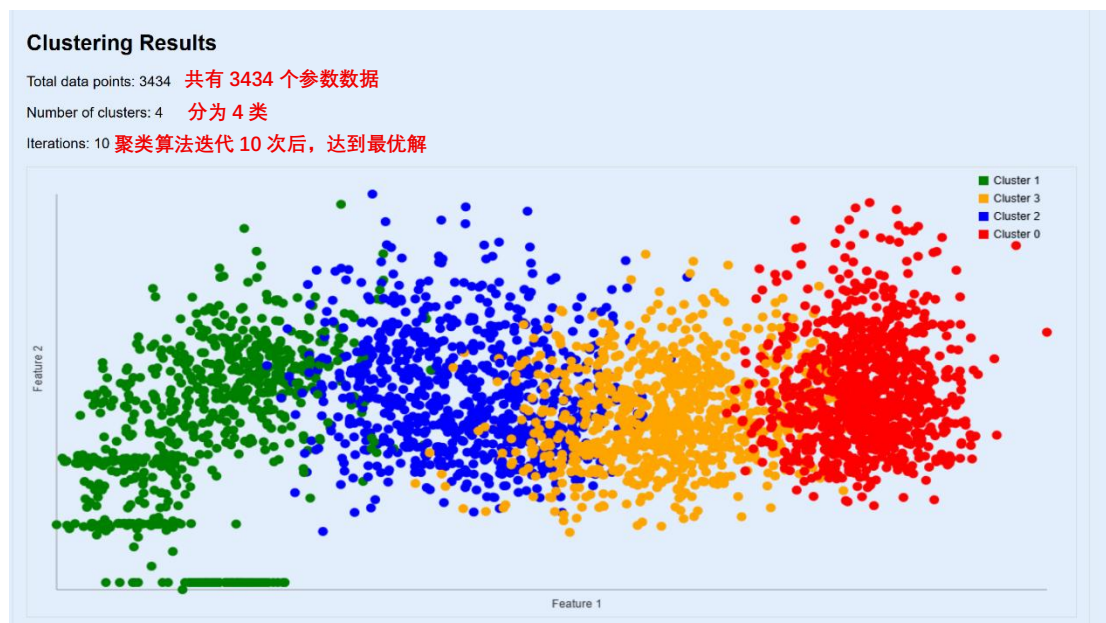


图 8- 2 波形聚类结果总览图

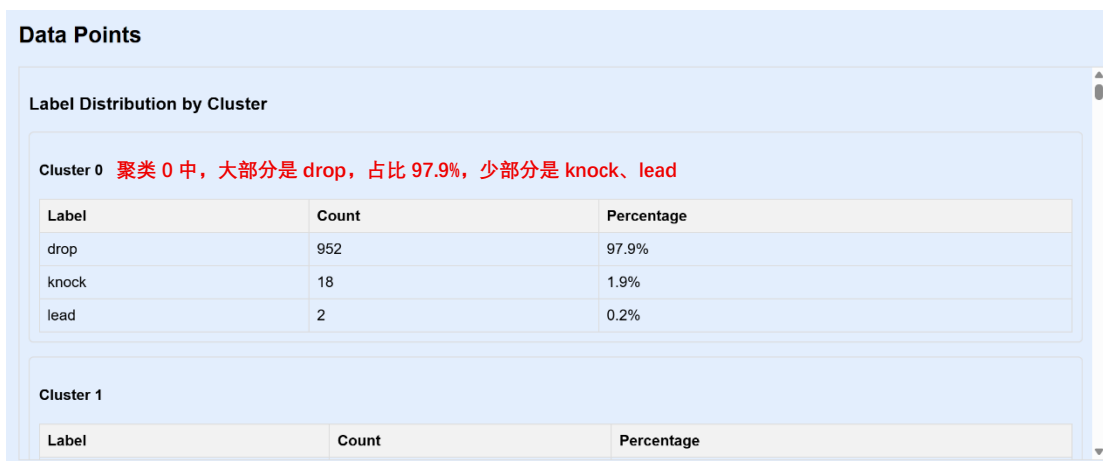


图 8- 3 按簇划分的标签分类

不同颜色代表不同的聚类，分类后，用户可根据分类详细结果，在.csv 文件中进行人工挑选，按类别放置并打标签。

Data Points

709	Cluster 1	22KHz___/scrape/12/12D01_241016152910267/4_10.pcm	scrape
710	Cluster 1	22KHz___/scrape/12/12D01_241016152910267/2_1.pcm	scrape
711	Cluster 1	22KHz___/scrape/12/12D01_241016152910267/2_2.pcm	scrape
712	Cluster 1	22KHz___/scrape/12/12D01_241016152910267/2_3.pcm	scrape
713	Cluster 1	22KHz___/scrape/12/12D01_241016152910267/4_0.pcm	scrape
714	聚类 2 Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A20_241016090241634/1_3.pcm	lead
715	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A20_241016090241634/2_1.pcm	lead
716	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A20_241016090241634/3_2.pcm	lead
717	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A20_241016090241634/4_0.pcm	lead
718	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A19_241016090216766/1_3.pcm	lead
719	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A19_241016090216766/2_1.pcm	lead
720	Cluster 2	22KHz___/lead/66位置/66A19_241016090216766/2_2.pcm	lead

图 8- 4 所有数据点的分类