

# 分布式光纤模式识别项目技术纲要

汇报人：刘凯杰



# 目录

## CONTENTS

- 0. 检测基本原理及重要参数
- 1. 瀑布图展示及定位算法
- 2. 模式识别算法

# PART 0

## 检测基本原理及重要参数

## 0.分布式光纤探测原理

光波沿光纤向前传播时，光纤中的每一个位置都会产生反向传播的散射光，这种散射称为后向瑞利散射。

当光纤处于安静的环境时，后向瑞利散射光波函数是确定的，但当有扰动的时候，扰动点附近的光纤**折射率**发生改变，而折射率的改变会改变后向瑞利散射光，分析探测器接收到的后向瑞利散射光，就可以检测出扰动的位置以及识别出扰动的事件源。

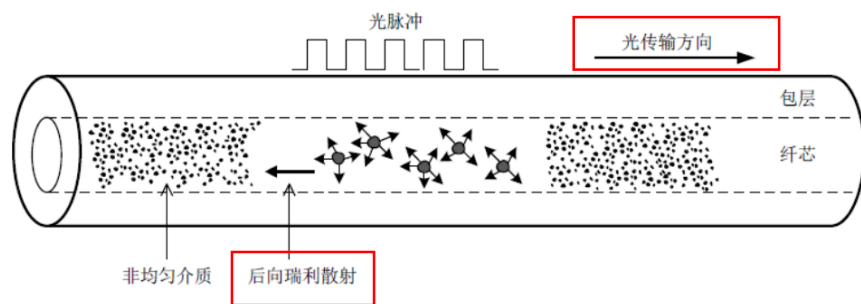
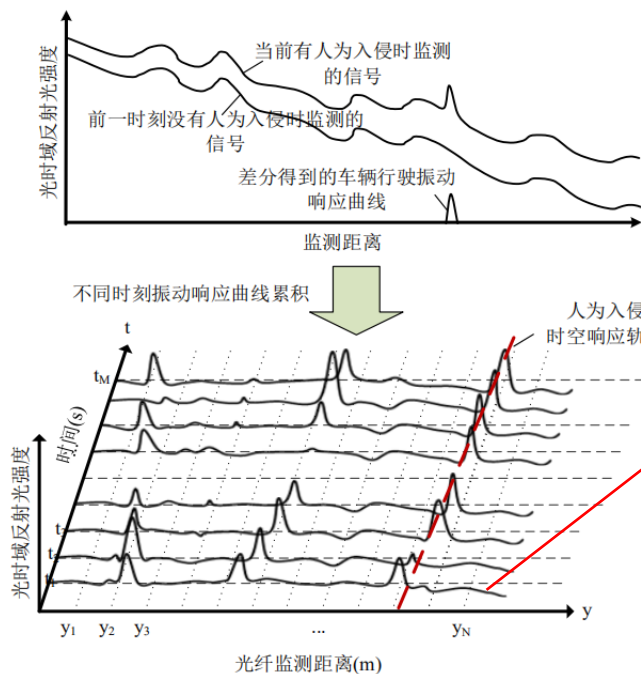


图 2-1 光纤中的瑞利散射示意图



每个时刻的后向瑞利散射曲线

## 0.几个重要参数

**传感距离：**光纤系统能够探测到最远的距离。同一个时刻内，光纤中只能存在一个脉冲光，在下一个脉冲光注入光纤前，前一个脉冲光的所有后向散射光必须已经被探测器接收，前一个脉冲光传播的最远距离就是传感最大距离。

$$L = \frac{1}{2f_m} \times \frac{c}{n_g} \quad , \quad f_m \text{ 为激光源的脉冲的频率, } c \text{ 为光速, } n_g \text{ 为光纤折射率。}$$

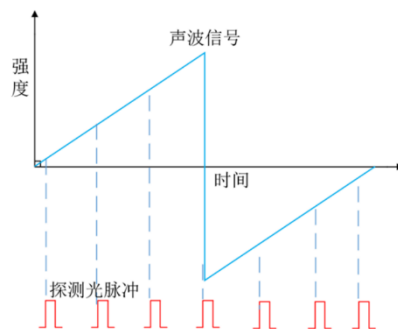
**理论空间分辨率：**理论上能够探测到的空间相邻两点的最小距离，由激光源的脉冲宽度 $T_w$ 决定。

$$\Delta z_1 = \frac{T_w}{2} \times \frac{c}{n_g}$$

**实际空间分辨率：**实际收集数据的空间相邻两点的距离，由采集卡采样率 $f_s$ 决定。

$$\Delta z_3 = \frac{1}{2f_s} \times \frac{c}{n_g}$$

**频率响应范围：**系统能解调出的最大振动信号的频率。根据采样定理，最大可解调频率等于光脉冲频率的一半。



PART 01



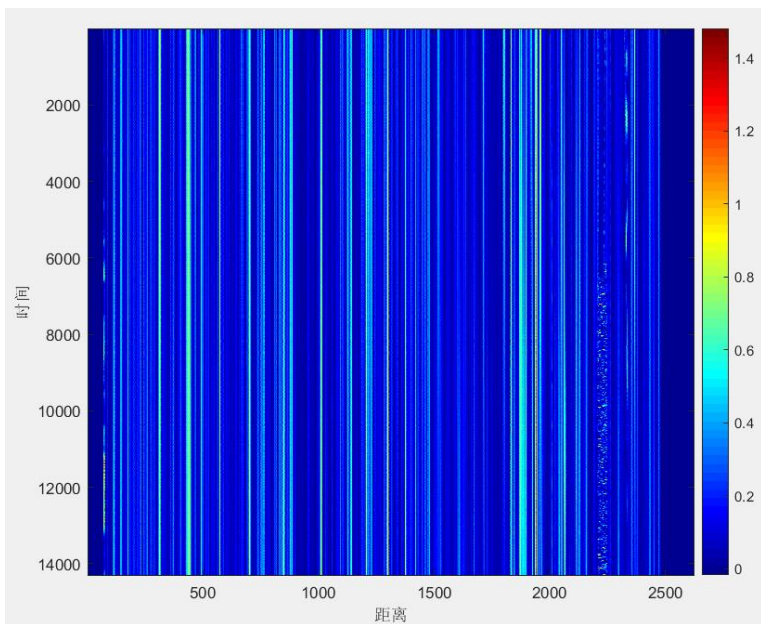
# 瀑布图展示及定位算法



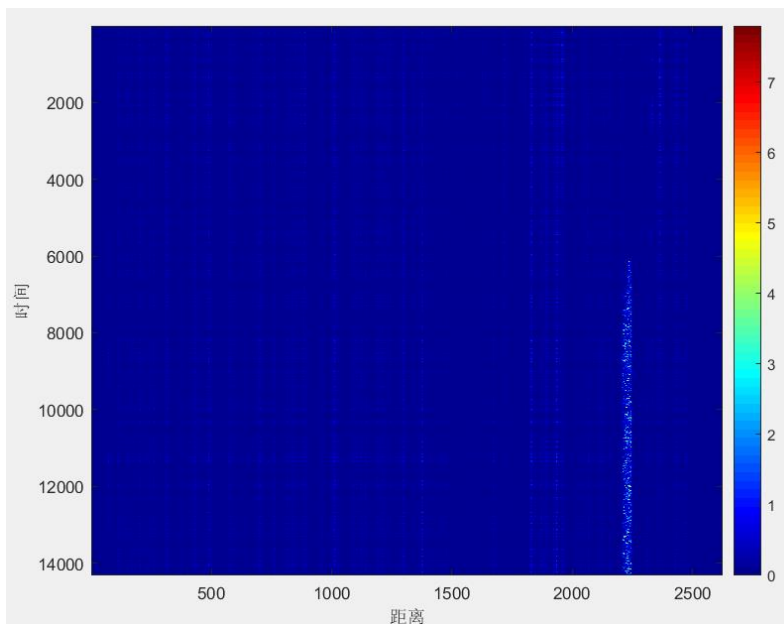
## 1.瀑布图展示

瀑布图：由多个时刻的后向瑞利散射曲线累加而成的时间-空间二维图像。  
原始瀑布图因空间每一点折射率不同，无法直观体现扰动点的信息，因此需滤波后再展示。

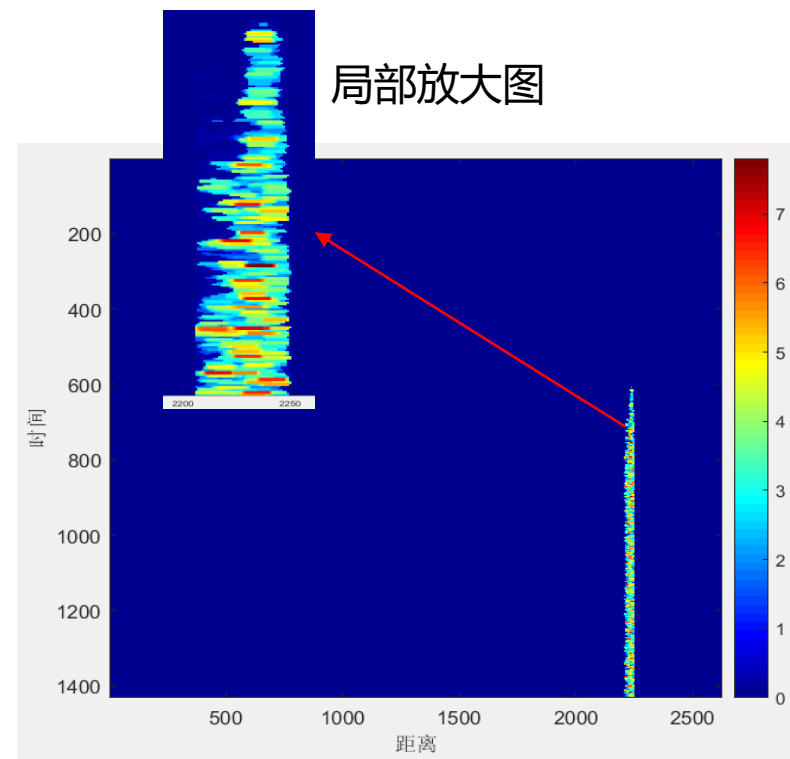
瀑布图的要求：1、能滤除大部分环境噪音，直观展示扰动点的位置和强度信息。  
2、实时性好，能够实时检测和展示。



原始瀑布图 (摇晃栏杆)



滤波后的瀑布图 (摇晃栏杆)

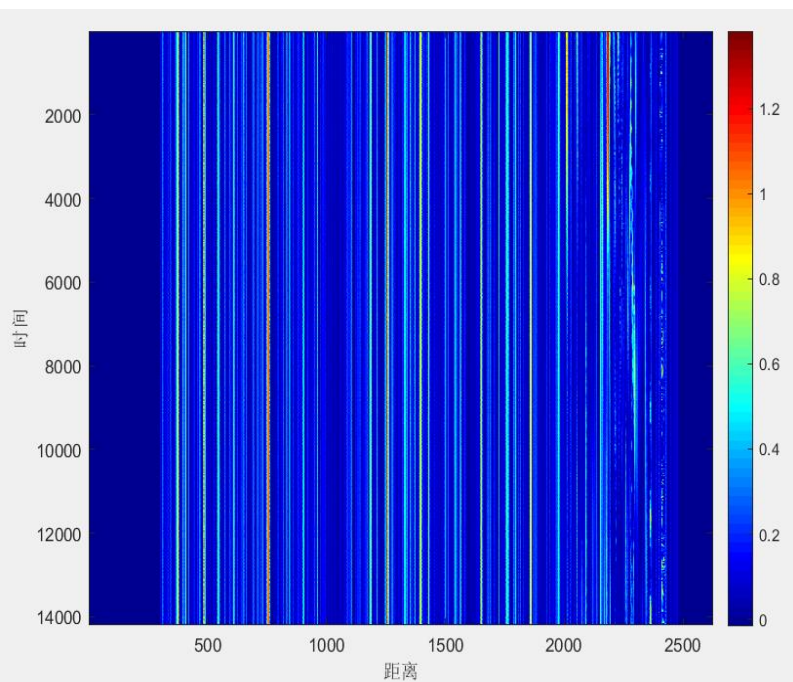


进一步增强 (摇晃栏杆)

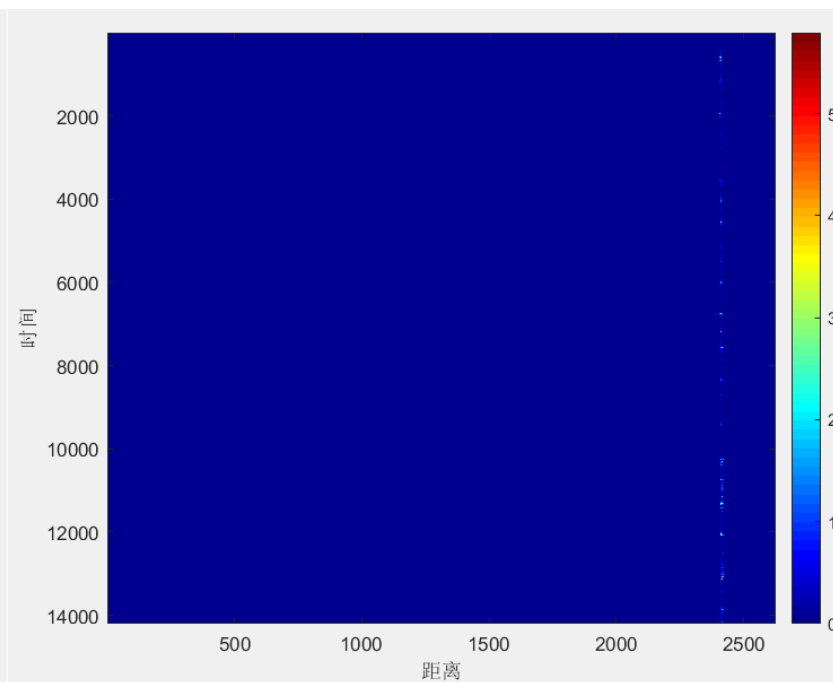
# 1.瀑布图展示

滤波方法: Sobel算子 (垂直梯度)

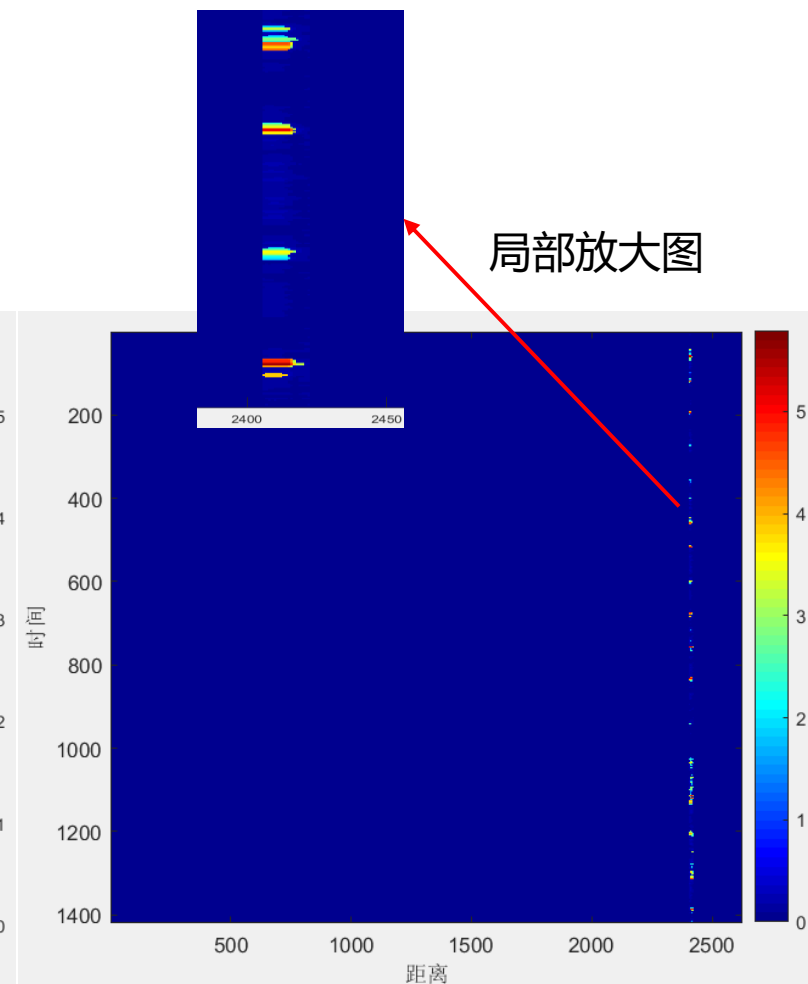
$$S_{2y}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -4 & -1 \end{bmatrix}$$



原始瀑布图 (草地上走路)



滤波后的瀑布图 (草地上走路)

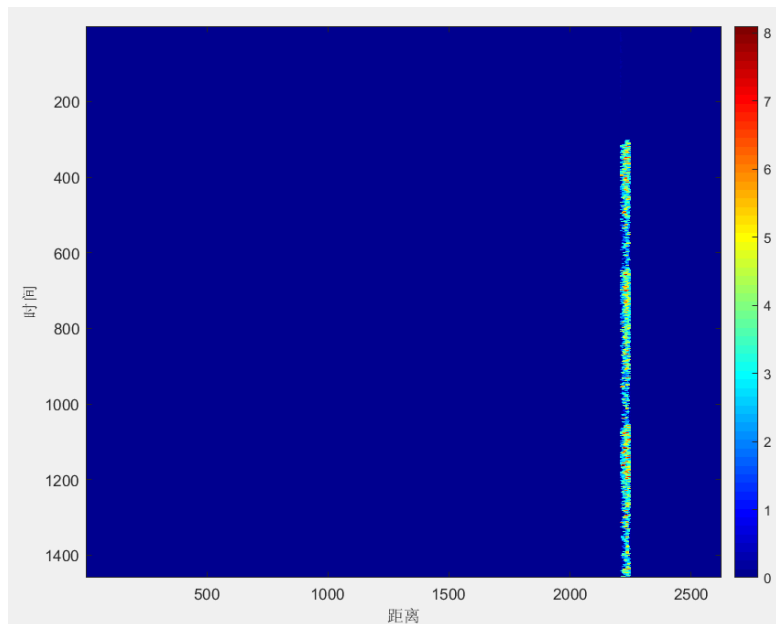


进一步增强 (草地上走路)

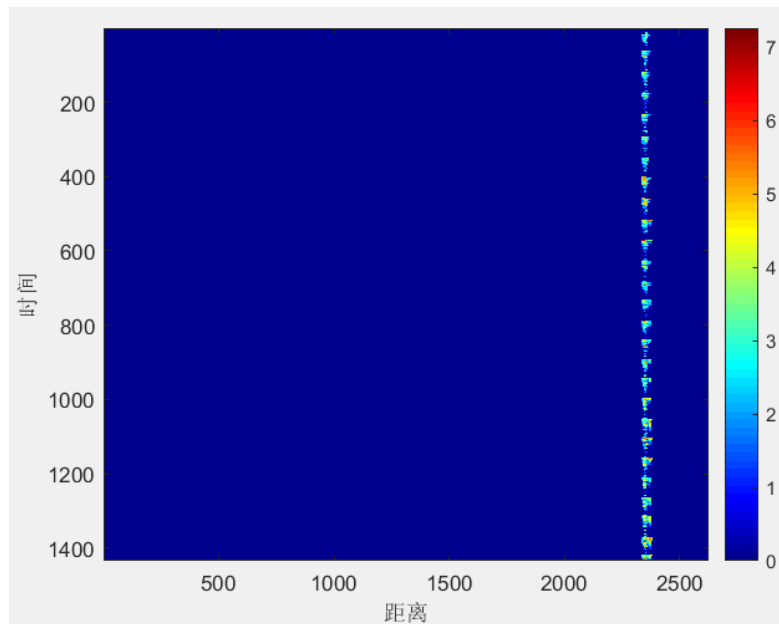


## 1.瀑布图展示

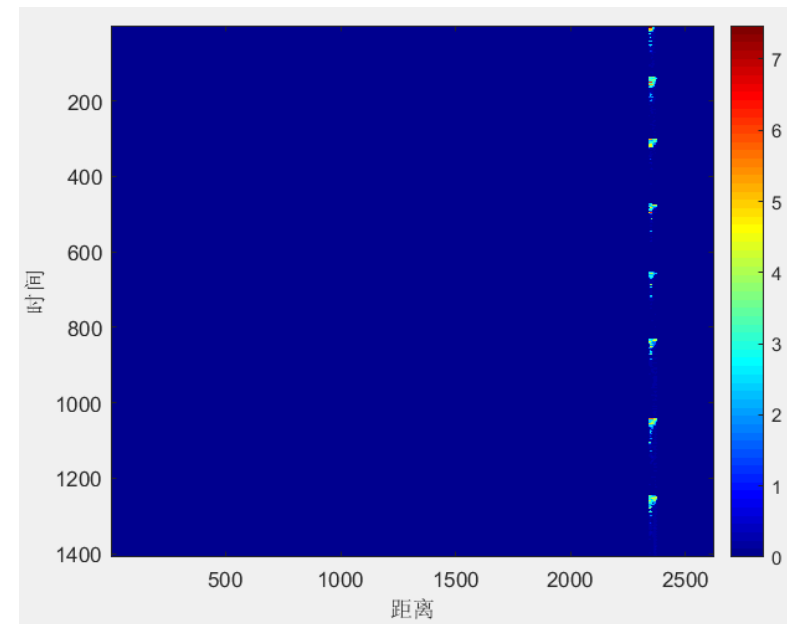
其他场景瀑布图展示:



踢栏杆



用笔敲打光纤



踩踏光纤

## 1.定位算法

定位算法与瀑布图展示是**同时完成**的，即原始数据经过滤波后，同时也能判别有无可疑异常事件发生，如果检测出有可疑异常事件，则对该区域进行增强并展示，后续对该区域进行模式识别；若检测出无异常事件，则瀑布图展示全置为0，后续不用再进行模式识别。

定位算法的主要设定判据为**最小空间分辨率**、**划分同一个事件的最大距离**、一定时间内**超过阈值的频数**。

定位结果截图示例：  
异常区域为2208列到2246列，影响范围是39列  
有1个区域发生异常事件

### 算法优点：

- ①实时性好，对于10秒、2km光纤的原始数据，定位及瀑布图展示整个流程只需2秒左右（不计数据读入的时间）
- ②可以实现多点同时入侵检测
- ③能滤除绝大多数情况下的噪音，包括小雨、中雨的实测。

### 算法缺点：

- ①检测效果依赖于关键阈值和参数的调节，阈值过低会增加误报（虽然可以通过后续模式识别滤除），阈值过高会漏报一些情况，如侧上方走路。不同的场景的最佳阈值不同，需要人工调节。
- ②暴雨场景下可能会有一些误判（可通过后续模式识别滤除）



# PART 02

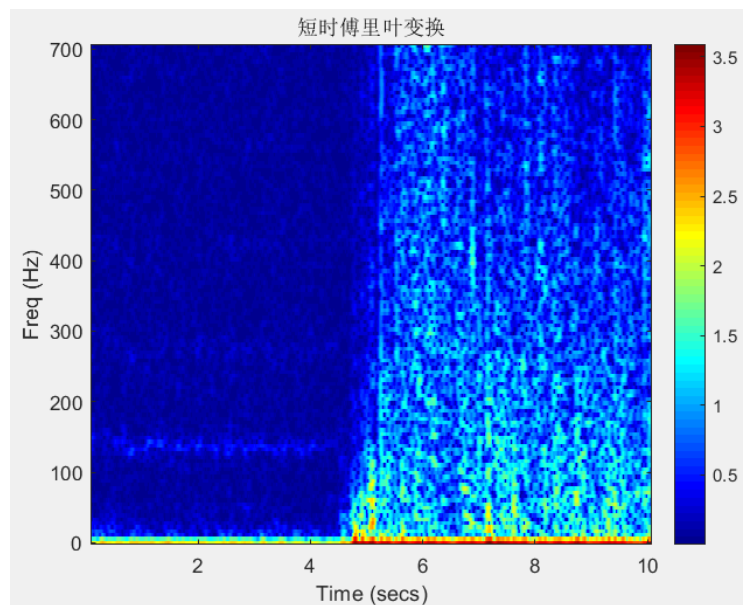
## 模式识别算法



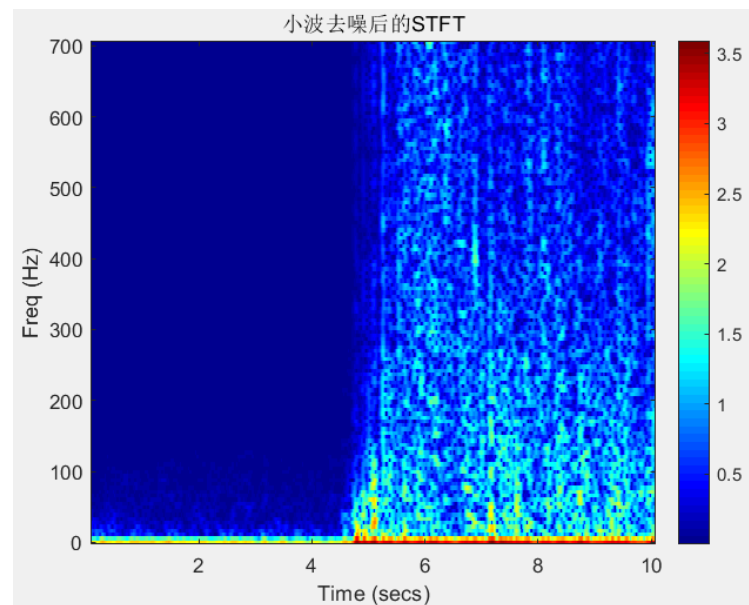
## 2.模式识别算法

经过定位算法检测后，若有异常事件发生，会检测出异常事件的区域（区间），选取区间正中间或能量最大的一列作为扰动的位置，可采用两种方法进行模式识别。

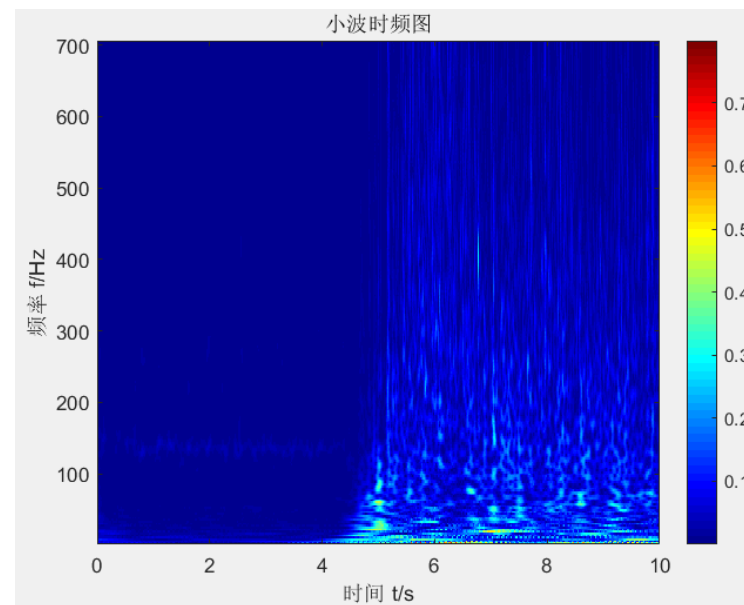
### 算法一：时频图+CNN分类



STFT（摇晃栏杆）



小波去噪后的STFT（摇晃栏杆）



小波时频图（摇晃栏杆）

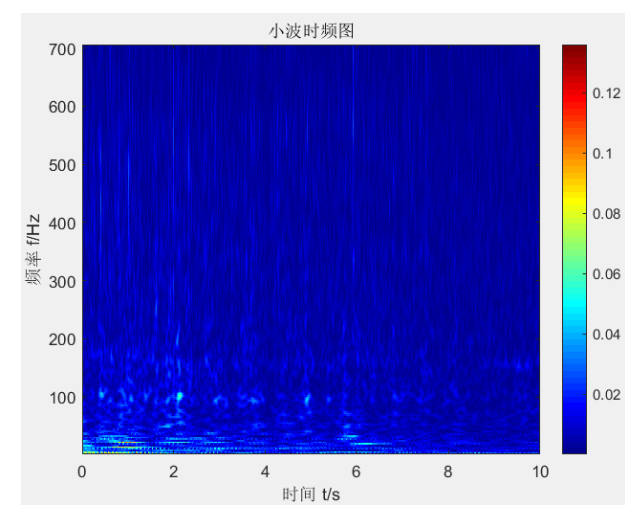
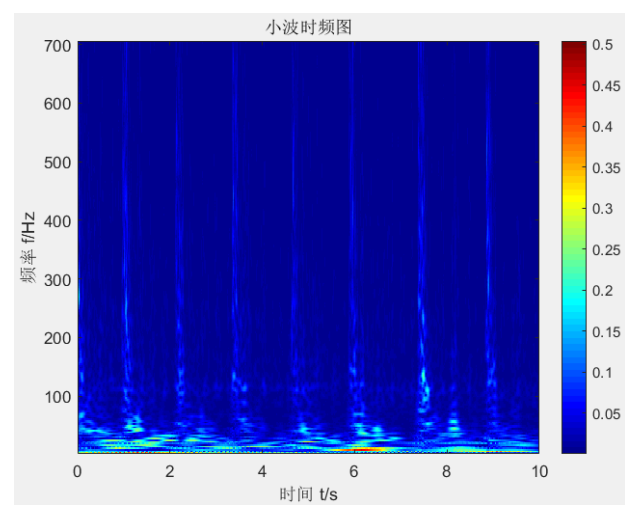
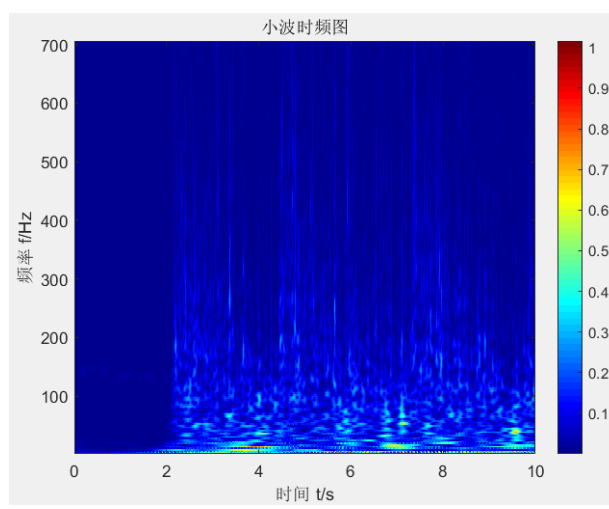
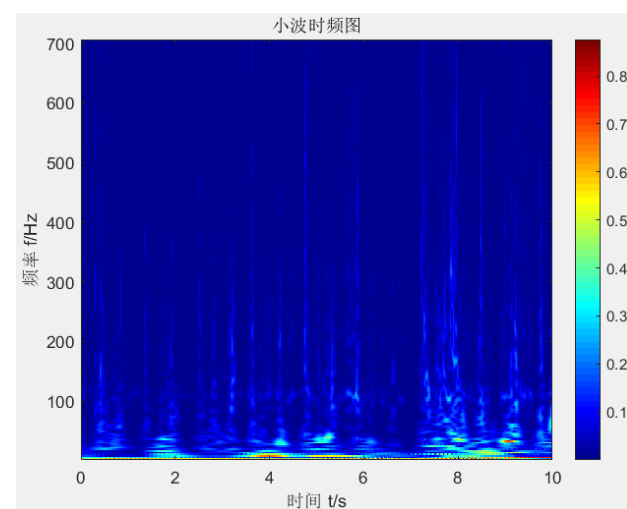
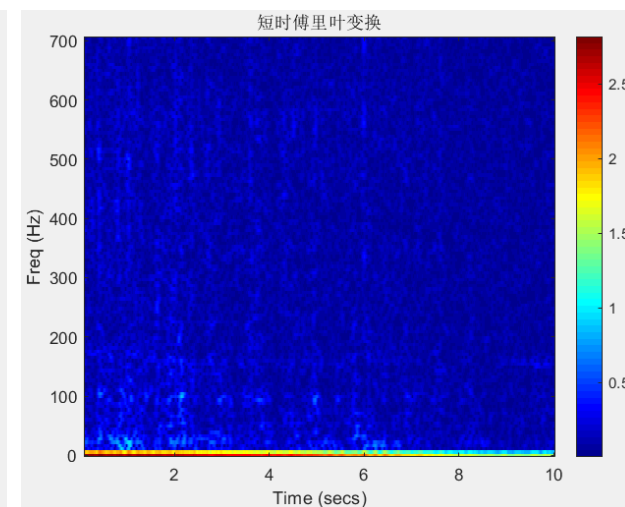
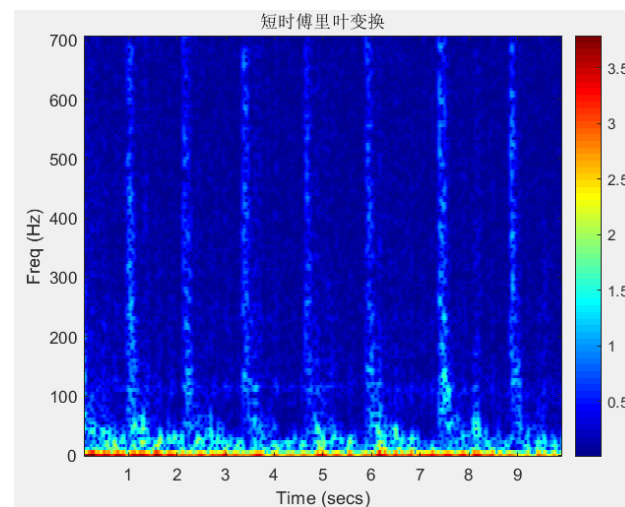
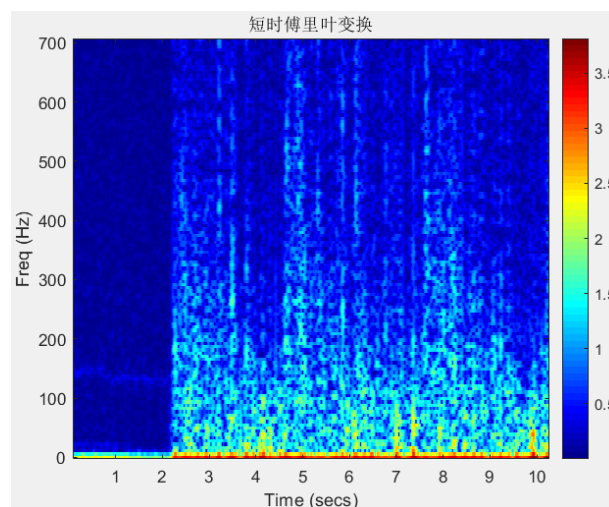
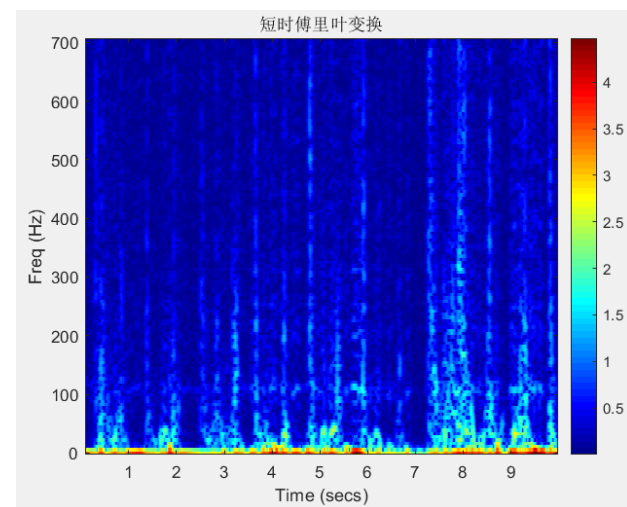
## 2.模式识别算法一：时频图+CNN

走路

踢栏杆

踩踏光纤

大雨



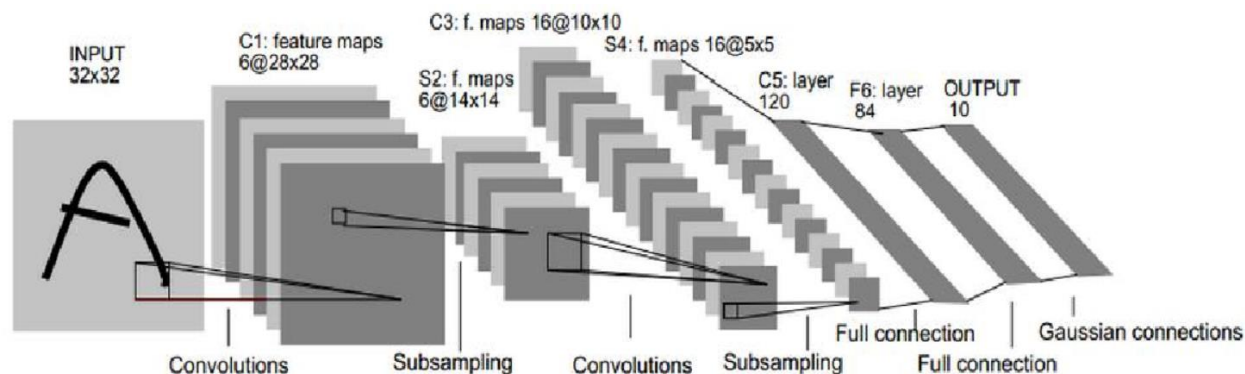
## 2.模式识别算法一：时频图+CNN

### 结论：

- ①时频图能反映频率的具体成分随时间的变化信息，蕴含更丰富的信息。
- ②小波时频图比短时傅里叶变换时频图更精细，但尺寸也更大。
- ③小波去噪能有效去除环境噪声。

### 具体做法：

- ①选取定位算法确定的区间正中间的一列作为起始列，向左右两边隔点选取一定列数作为检测列；
  - ②作出所有检测列的时频图，resize后叠加为多通道的距离-时频图；
  - ③将多通道的距离-时频图输入CNN网络分类。
- (另：也可以只选取一列检测列的时频图，最后在全连接层加上影响范围这一参数)



## 2.模式识别算法二：人工时频域特征+分类器

### 人工时频域特征设计（22维）：

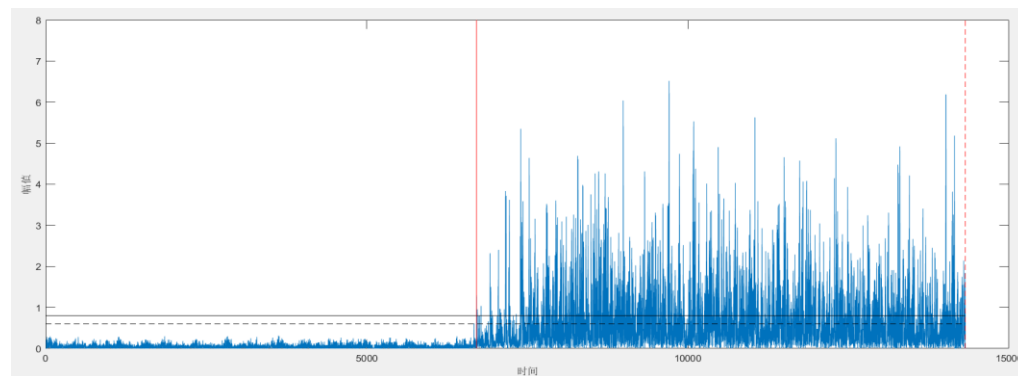
- ①小波包能量谱，即各个频带的能量（16维），包含频率信息
- ②均值、方差、最大值（3维），包含幅值信息
- ③平均持续时间、时间间隔（2维），包含作用时间信息
- ④影响范围（1维），包含能量及广度信息

### 具体做法：

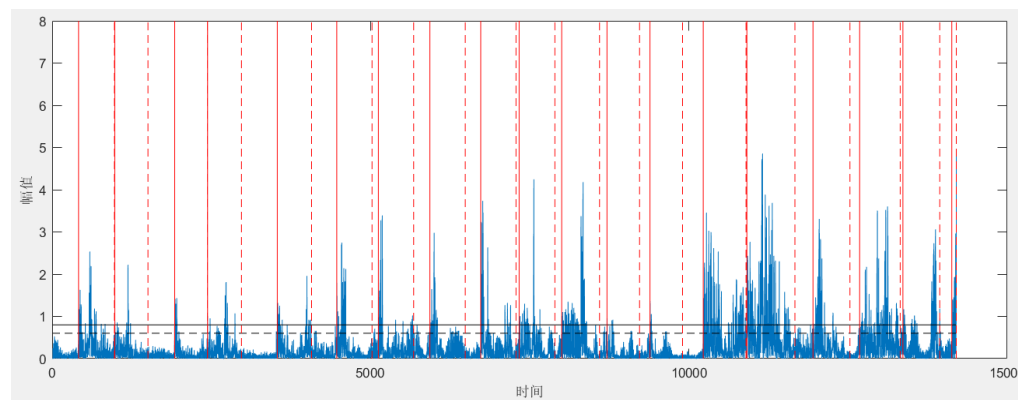
- ①定位算法检测出区间后，选取能量最大的一列作为检测列；
- ②对检测列的滤波后的信号，用语音信号处理的双门限法检测出有扰动时的信号；
- ③将原始信号按扰动的时间点提取出扰动信号，剔除没有扰动的时间段，对有扰动信号段分别提取上述时频域特征；
- ④将特征输入分类器分类，可用SVM或简单的神经网络作为分类器。

## 2.模式识别算法二：人工时频域特征+分类器

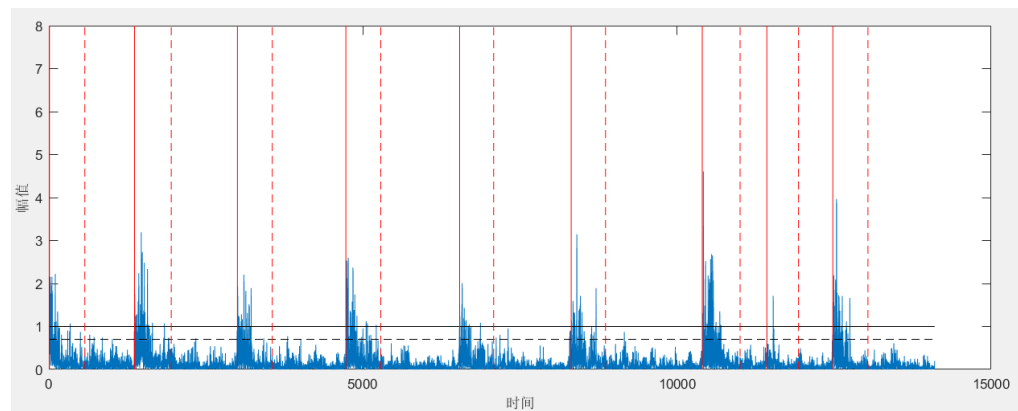
双门限法提取有扰动段：



摇晃栏杆



草地走路



踩踏光纤



## 2.模式识别算法二：人工时频域特征+分类器

小波包分解计算各频带能量：4层可得16个频带的能量

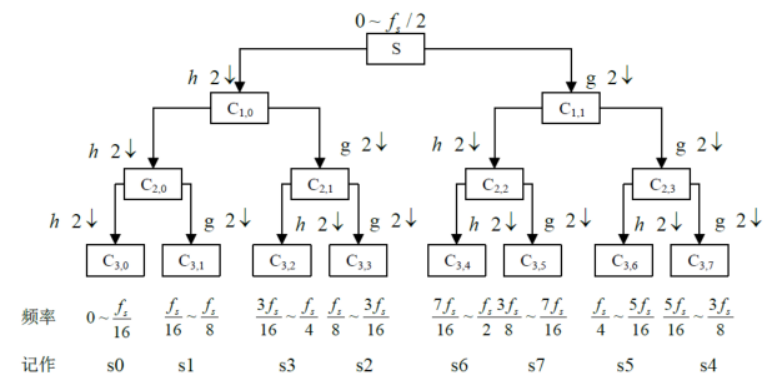
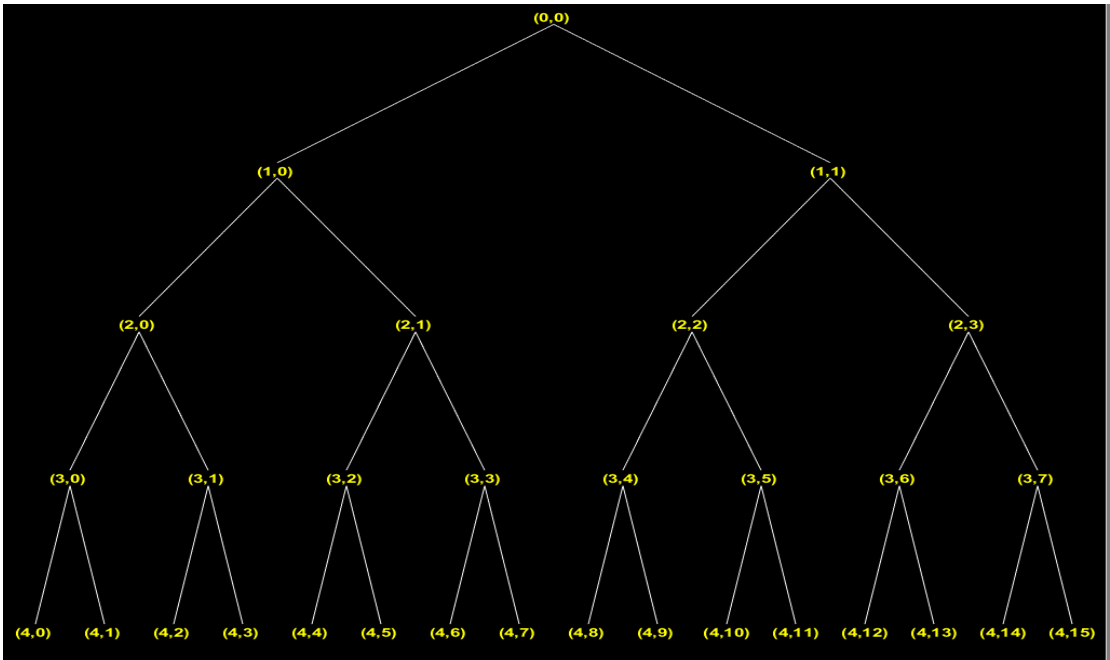
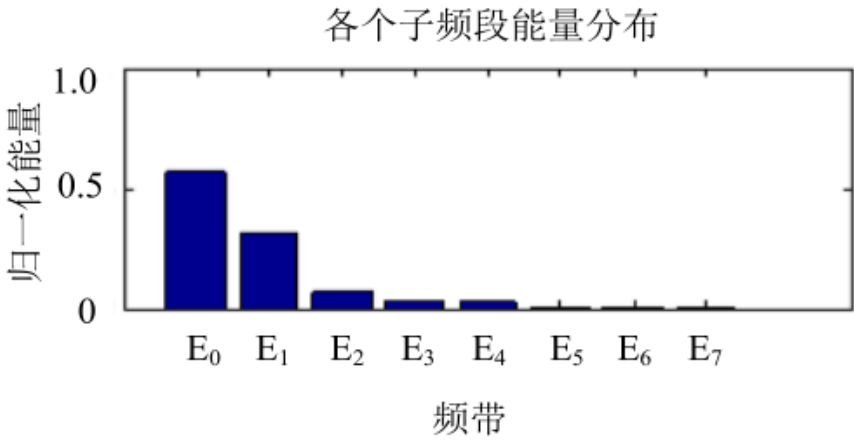


图 3-6 小波包分解示意图



## 2.模式识别算法二：人工时频域特征+分类器

总结：

①该算法更常规一些，人为提取的特征更有针对性，特征数量也更少，分类速度可能会快一些；

②特征蕴含信息不如时频图的信息丰富，尤其是没有频率随时间的变化信息，分类结果应该不如时频图+CNN算法；

(后续可能两种算法都试一下)

## 流程总结

