

一种基于 M-Z 干涉仪的事件识别算法

陈晨 周劲峰

(北京工业大学应用数理学院, 北京 100124)

摘要 利用基于马赫-曾德尔(M-Z)干涉原理的分布式光纤振动传感监测系统,提出了一种光缆振动事件的识别方法。该方法解决了普通光纤振动传感监测系统不具备模式识别智能分析可操作性的问题。通过对光缆上的振动事件的分析对振动的事件识别建模,利用大量实验数据将振动事件分类,通过与这些振动事件的比较,实现对振动事件的识别。

关键词 光纤传感器;振动事件识别;细胞分类算法;欧氏距离

中图分类号 TP212 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.080603

Event Identification Algorithms Based on M-Z Interferometer

Chen Chen Zhou Jinfeng

(College of Applied Sciences, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract Based on the Mach-Zehnder (M-Z) interference principle of distributed optical fiber vibration sensor monitoring system, we propose an event recognition method for the vibration of fiber optic cable. This method solves the problem that the common fiber optic vibration sensor monitoring system does not have the pattern recognition intelligence analysis function. Through the analysis of the vibration events, the event recognition model is established. A lot of experimental data are used to classify the vibration events. Through the comparison of the vibration and these events, the vibration event recognition can be realized.

Key words fiber sensor; vibratory event recognition; cell classification algorithm; Euclidian distance

OCIS codes 060.2370; 280.4788; 200.4560

1 引言

光纤传感技术于 20 世纪 70 年代开始迅速崛起,经过近 40 年的发展已经应用于多种领域。光纤传感器以其耐腐蚀性、抗电磁干扰等优点,相比传统传感器更适合用于复杂恶劣条件下的信息监测和采集^[1]。分布式光纤传感器利用光波在光纤中传输时相位、偏振等对振动的敏感特性,能够及时监测光纤周边发生的振动,具有广阔的发展前景。分布式干涉型光纤振动传感器^[2,3]具有灵敏度高、响应速度快以及解调过程简单的优点。目前,马赫-曾德尔(M-Z)干涉技术主要用来检测振动。本文在 M-Z 干涉技术的基础上提出了一种新的振动事件识别方法,对发生在光缆上的振动事件进行准确识别。

2 事件识别原理及建模

光缆上的事件除了直接触动光芯外,其他事件都是外面振动经过光缆外皮传入的振动,这种振动一般持续时间很短,且为突发振动,包络有明显的突起,频谱分布不均匀。普通光缆如图 1 所示,光芯被包在厚厚的外包层之内,外包层起着对光芯的保护、缓冲和加强等作用。来自表皮的振动,在传导过程中高频成分被严重吸收,反映在信号频谱上就是测得的振动高频成分较少、低频成分丰富。

可以用一个滤波器来模拟这个过程。假设实际振动信号为 $g(t)$,光缆外包层系统传输函数为 $h(t)$,通过

收稿日期: 2012-02-01; 收到修改稿日期: 2012-03-01; 网络出版日期: 2012-06-07

作者简介: 陈晨(1985—),男,硕士研究生,主要从事光纤传感器方面的研究。E-mail: 45777849@qq.com

导师简介: 周劲峰(1968—),男,副教授,主要从事光纤传感及应用、智能传感器等方面的研究。

E-mail: zhoujinfeng@bjut.edu.cn

系统采集得到的信号为 $x(t)$, 那么这些信号间的关系为

$$x(t) = g(t) * h(t) = \int g(t - \tau)h(t) dt. \quad (1)$$

光缆振动事件的识别就是将振动分类, 对关注的事件进行报警, 这个课题实质是一个模式识别课题。模式识别是一个参数化的过程, 首先要分析模式空间, 确定所有待识别对象的全体; 其次根据所研究问题的不同, 将现实中的模式通过特征抽取形成特征矢量, 即现实模式的参数化过程, 并衡量两个特征参数的距离远近尺度; 最终将同类模式进行统一描述。

一般完成模式识别的具体过程是: 尽可能多地采用待识别事件, 并人工做出标注(即每类事件人工分类); 根据所研究问题提取合适的特征参数, 这样模式空间就变为高位空间中的点集; 通过模式训练求取同类点集的空间分布特性; 对一个未知类别的事件, 通过特征参数提取得到事件在空间中的点; 利用距离测度和训练得到每类空间分布, 计算该点属于每类的可能性(或者叫距离), 选最有可能的或距离最小的那一类作为该事件的所属。数据库经过特征提取变为特征空间中的一个点集 $\{V_1, V_2, \dots, V_M\}$, 如果特征选取恰当那么不同类别的事件在空间中应该有不同分布, 这个过程可以用图 2 直观地描述。

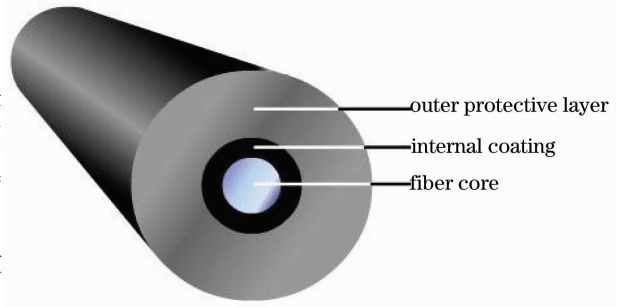


图 1 普通光缆示意图

Fig. 1 Diagram of common fiber cable diagram

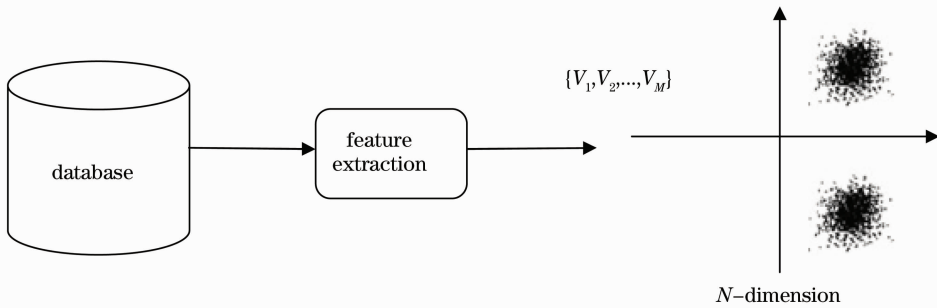


图 2 数据库经特征提取后在 N 维空间中点的分布示意图

Fig. 2 Point distribution of database in N -dimensional space after feature extraction

由于数据库可以看成由足够多个点组成, 所以不能存储所有的点作为该类的分布, 最简单的描述可以用单高斯分布来描述, 即同类事件的点集有一个中心和分布的方差, 这样我们就可以用简单的模型来描述一类事件。对于一个未知类别的事件, 先利用特征提取转化为空间中的一个点, 然后应用距离测度, 计算该点离每类事件的距离(或隶属可信度), 找距离最近的类作为该事件的归属, 识别过程如图 3 所示。

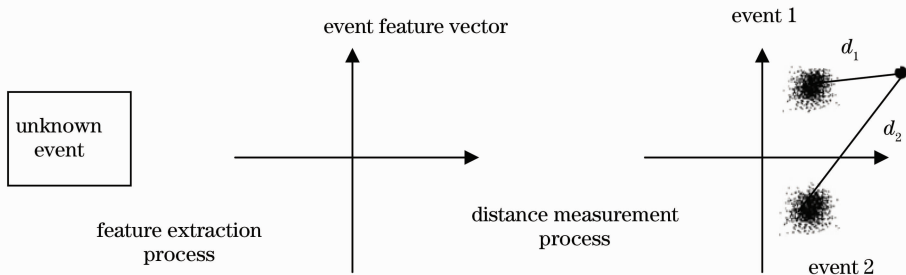


图 3 识别过程示意图

Fig. 3 Recognition process

3 光缆事件识别具体实现方法

针对识别分类不明确的问题, 选用先自然分类再人工标注的过程。首先选取大量实验数据提取和切割,

将每个事件分割为 0.1 s 的定长信号。根据分析,选用信号能量包络和频谱分布的联合参数作为特征参数,共 30 维,其中 25 维为能量包络,另外 5 维为频谱分布。选用欧氏距离作为衡量事件接近程度的尺度。利用细胞分类算法中有代表性的 LBG 算法将所有事件分类,共分为 16 类事件。对自然分类的每一类事件人工复听和标注,由于自然分类较细,为了观察的方便将事件类别合并,最后分为 6 类,每类事件用高斯过程描述。识别时对未知事件首先参数化,利用距离测度计算该事件和 16 类事件中哪个最接近,就把该事件标注为此类事件。

3.1 数据库采集

在 10、20、30 km 等不同距离上反复采集各类振动^[4](敲击光缆、刮擦光缆、敲击接头盒、碰触光芯等),尽量模拟各类光缆干扰过程,共得到各类光缆事件约 5000 件(每件 0.1 s),以此作为光缆事件的数据库,基本可以满足我们对光缆事件的要求。该数据是以下工作的基础。

3.2 特征参数提取

根据分析,选用信号能量包络和频谱分布的联合参数作为特征参数,首先令事件的叠加谱为 $G(j)$,将叠加谱平均分为 10 段,计算各段的能量分布矢量 $P_f(i)$ ($i=0,1,\dots,9$):

$$P_f(i) = \frac{\sum_{j=i*100}^{(i+1)*100} G(j)}{\sum_{j=0}^{999} G(j)}. \quad (2)$$

将 0.1 s 信号等分成 50 段,每段信号计算能量,然后计算归一化能量包络分布矢量 $P_E(i)$ ($i=0,1,\dots,49$):

$$P_E(i) = \frac{\sum_{j=i*160}^{(i+1)*160} |s(j)|}{\sum_{j=0}^{7999} |s(j)|}. \quad (3)$$

将两部分矢量合并为一个矢量 $P(i)$ ($i=0,1,\dots,29$),作为识别的特征矢量:

$$P = \{P_E, P_f\}. \quad (4)$$

3.3 距离定义

距离是用以衡量两个特征矢量间相似程度的,这里采用欧氏距离,具体定义为

$$d(P_i, P_j) = \sqrt{\sum_{k=0}^{k=29} [P_i(k) - P_j(k)]^2}. \quad (5)$$

距离越小则说明两个时间越接近或者相似度越好。欧氏距离有很好的普适性,距离测定在事件分类和识别时用到。

3.4 事件分类

将数据库中的每个事件通过特征提取转变为一个 30 维矢量 P_i ,那么语料库就变为 60 维矢量的集合。假设数据库中事件个数为 M ,则数据库集合可以记为 $\Phi = \{P_i | I=0,1,\dots,M-1\}$,现在的问题是如何把这个集合合理地分成 16 个子集合 ϕ_i , $i=0,1,\dots,15$,分类原则是分类后使得总体方差最小^[5,6]。

这类问题在语音识别中有较多的解决方法,这里选用比较直观的 LBG 算法,通过聚类得到 16 个类代表矢量,在距离最小测度原则下自然将集合 Φ 分为 16 个子集。

- 1) 计算集合 Φ 的中心, $\bar{P} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} P_i$;
- 2) 引入各维都很小的随机矢量 Δ ;
- 3) 分别以 $\bar{P} + \Delta$ 和 $\bar{P} - \Delta$ 为中心,利用距离最小原则把集合 Φ 分为两个;
- 4) 分别计算集合的中心,利用新的中心重新分类;
- 5) 重复过程 4) 直到分类无变化或方差减小幅度小于门限值;
- 6) 把每个子集作为一个集合重复过程 1)~5) (多个中心时统一计算) 直到分类个数等于要求的分类数;
- 7) 输出每个集合的均值作为该类的代表矢量。

在图 4 中,以分类 4 个事件的过程为例,说明上述分类过程。

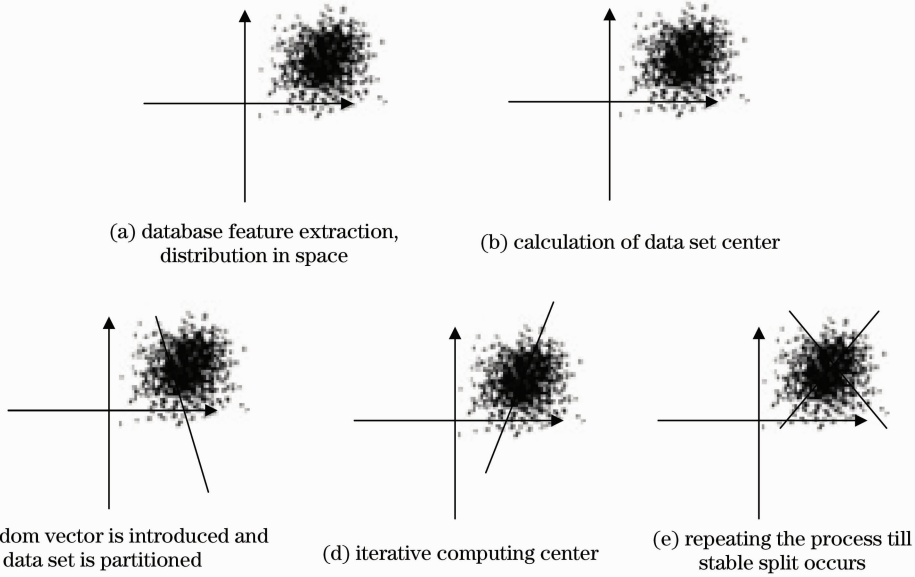


图 4 LBG 分类过程

Fig. 4 LBG classification process

通过实际训练得到 16 个代表矢量,如图 5 所示,从中可以明显看出代表矢量在能量包络和频率分布上都有差异,每个矢量代表一类事件。

3.5 时间标注

把事件集合划分为 16 类,对于每一类事件进行认真复听和对比,最终给每类事件一个合理的名称。得到的代表矢量标号和事件名称的对应关系如表 1 所示。

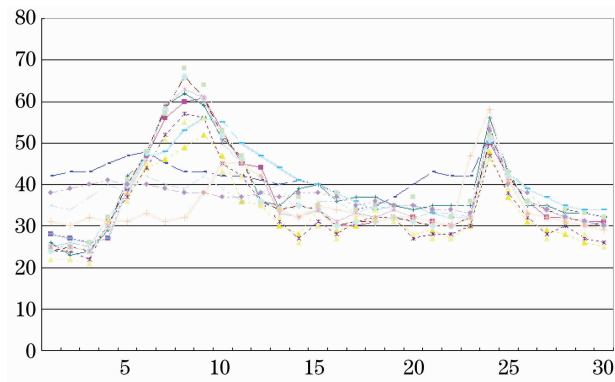


图 5 经过训练后得到的代表矢量

Fig. 5 Representative vectors obtained after training

表 1 代表矢量及其对应事件

Table 1 Representative vectors and their corresponding events

Representative vector label	Event
0	Percussion
1	Percussion
2	Tapping
3	Percussion
4	Tapping
5	Percussion
6	Percussion
7	Percussion plus friction
8	Tapping plus sliding
9	Percussion
10	With a hard object
11	Tapping
12	Slide
13	Tapping
14	Slide
15	Scratch

4 结 论

本文研究了一种新的光缆振动事件识别算法,通过不同的震动类型和震动幅度获取振动信息^[7,8],实现了模式识别智能分析。接下来的工作包括进行实验,验证算法的可行性。

参 考 文 献

1 Chen Xiufeng, Yang Dongxiao, Lai Bin *et al.*. Acoustic strain effect of multimode optic-fiber sensor[C]. *SPIE*, 1996,

- 2895**: 384~392
- 2 Jia Bo, Hu Li. Research of all fiber velocity interferometer [J]. *Appl. Opt.*, 1999, **20**(6): 19~22
贾 波, 胡 力. 全光纤速度测量仪的研究[J]. *应用光学*, 1999, **20**(6): 19~22
 - 3 Jia Bo, Qian Songrong, Hua Zhongyi *et al.*. Optic fiber length measurement using all-fiber interferometer[J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(1): 73~75
贾 波, 钱松荣, 华中一 等. 全光纤干涉系统用于光纤长光测量实验[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(1): 73~75
 - 4 Jia Bo, Jin Yaqui, Zhang Wei *et al.*. The study of full light speech signal collection system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **B10**(3): 185~188
 - 5 S. J. Russell, K. R. C. Brady, J. P. Dakin. Real-time location of multiple time-varying strain disturbances, acting over a 40-km fiber section, using a novel dual-Sagnac interferometer[J]. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(2): 205~213
 - 6 Song Shoupeng, Que Peiwen. Wavelet based noise suppression technique and its application to ultrasonic flaw detection[J]. *Ultrasonics*, 2006, **44**(2): 188~193
 - 7 T. A. Berkoff, M. A. Davis, D. G. Bellemore *et al.*. Hybrid time and wavelength division multiplexed fiber Bragg grating array[C]. *SPIE*, 1995, **2444**: 288~294
 - 8 C. B. Cameron, R. M. Keolian, S. L. Garrett. A symmetric analogue demodulator for optical fiber interferometric sensors [C]. *Proceedings of the 34th Midwest Symposium on Circuits and systems*, 1991, **2**: 666~671