



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104269006 A

(43) 申请公布日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201410494088. 7

(22) 申请日 2014. 09. 24

(71) 申请人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路 92 号

(72) 发明人 封皓 施羿 孙茜 曾周末

靳世久

(74) 专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 温国林

(51) Int. Cl.

G08B 13/186(2006. 01)

G06K 9/62(2006. 01)

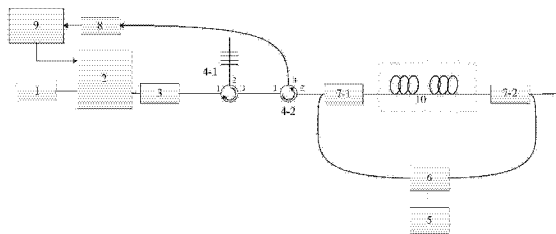
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种光纤预警系统及模式识别方法

(57) 摘要

本发明公开了一种光纤预警系统及模式识别方法,涉及管道监测领域,电信号经过信号采集及上位机模块进行放大、滤波、模数转换为数字信号后,完成数字信号的处理与分析;同时,拉曼光源中产生连续光,经过2X2分路器,分为2束光,分别进第一波分复用器、第二波分复用器,从正向和反向方向分别注入传感光纤中,通过拉曼散射效应,对由激光光源产生的光脉冲进行分布式放大,保证在传感光纤沿线的信号强度;最后,在信号采集及上位机模块中,对多次脉冲过程中得到的信号进行重排,得到关于空间和时间的二维信号,供后续使用。本发明能够有效识别出人行走、人工挖掘和过车事件,并进行事件定位,有效降低了预警系统的误报率。



1. 一种光纤预警系统,包括:激光光源和拉曼光源,其特征在于,

所述激光光源所产生连续光,经由声光/电光调制器进行调制转换为光脉冲,其中所述声光/电光调制器及其驱动器由信号采集及上位机模块中的上位机模块写入 FGPA 的程序控制通断,使连续光形成脉冲光;

所述脉冲光经光放大器放大后,由第一光纤环形器、第二光纤环形器注入传感光纤中,所述脉冲光在传播过程中所产生的背向传播散射光和反射光会沿与光脉冲传播方向相反的方向在所述传感光纤中传播,经由第二光纤环形器进入光电探测器形成电信号;

所述电信号经过所述信号采集及上位机模块进行放大、滤波、模数转换为数字信号后,完成数字信号的处理与分析;

同时,所述拉曼光源中产生连续光,经过 2X2 分路器,分为 2 束光,分别进第一波分复用器、第二波分复用器,从正向和反向方向分别注入所述传感光纤中,通过拉曼散射效应,对由所述激光光源产生的光脉冲进行分布式放大,保证在所述传感光纤沿线的信号强度;

最后,在所述信号采集及上位机模块中,对多次脉冲过程中得到的信号进行重排,得到关于空间和时间的二维信号,供后续使用。

2. 一种用于权利要求 1 所述的光纤预警系统的模式识别方法,其特征在于,所述模式识别方法包括以下步骤:

采用计算散布矩阵的方法对图像的 10 个描述特征进行选择,将选取的特征作为分类器的输入,进行分类识别;

通过高斯核函数、以及一对一的多分类决策,对所有训练样本进行测试,获取最终的分类结果;

将多个分类器作为一个整体并选择 5-折交叉验证的方法对准确率进行评价;得出平均准确率和识别效率;

将设计好的分类器应用于所述光纤预警系统现场对入侵事件进行实时监测识别。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述 10 个描述特征具体为:

区域凸壳像素数、区域内的像素数、与区域有着相同二阶矩的椭圆的偏心率、与区域有着相同二阶矩的椭圆的长轴、与区域有着相同二阶矩的椭圆的短轴、与区域有着相同面积的圆的直径、区域中对象的数量减去这些对象中孔洞的数量、以及质心最小距离、形状特征和形装系数组成 10 个特征。

一种光纤预警系统及模式识别方法

技术领域

[0001] 本发明涉及管道监测领域,尤其涉及一种光纤预警系统及模式识别方法。

背景技术

[0002] 基于相干瑞利散射(Φ -OTDR)技术的分布式光纤预警系统是通过检测从光纤各部分散射回来的后向散射光的光强,检测外界振动信号并对其定位。 Φ -OTDR以普通单模光纤作为光传输和传感载体,可实现长距离的实时监测和精确定位,便于铺设,抗电磁干扰能力强,易于工程化,常用于工程结构的安全检测、光纤周界防护和油气管道安全预警等领域。

[0003] 在光纤预警系统中,振动信号的分类识别至关重要,若产生误报,不但可能会造成人力物力上的浪费,严重的可能会延误处理时间危及生命财产安全。因此如何准确识别入侵事件种类,及时报警,减少误报,避免不必要的资源浪费一直以来是光纤预警系统研究的关键性问题。同时,由于光纤非线性效应以及光纤瑞利散射系数小,相干瑞利散射型 OTDR 的传感距离一直不长,使其应用受到限制。

[0004] 在定位识别方面,现有的方法首先定位事件信号在空域上的所在位置,然后提取该位置的时域信号,对一维时域信号进行特征提取,然后进行分类识别。

[0005] 发明人在实现本发明的过程中,发现现有技术中至少存在以下缺点和不足:

[0006] 这种方法由于需要先进行定位,因此大大增加了识别的时间,如多点定位,运算量极大。除此之外,对于定位的精确性要求非常高,一旦定位错误,则不能正确识别出事件种类,容易产生误报,不能够满足需求。因此急需一种高效,准确的模式识别方法应用于光纤预警系统。

发明内容

[0007] 本发明提供了一种光纤预警系统及模式识别方法,本发明能够高效精确的识别事件类型,避免不必要的浪费,以及危险事故的发生,详见下文描述:

[0008] 一种光纤预警系统,包括:激光光源和拉曼光源,所述激光光源所产生连续光,经由声光/电光调制器进行调制转换为光脉冲,其中所述声光/电光调制器及其驱动器由信号采集及上位机模块中的上位机模块写入 FPGA 的程序控制通断,使连续光形成脉冲光;

[0009] 所述脉冲光经光放大器放大后,由第一光纤环形器、第二光纤环形器注入传感光纤中,所述脉冲光在传播过程中所产生的背向传播散射光和反射光会沿与光脉冲传播方向相反的方向在所述传感光纤中传播,经由第二光纤环形器进入光电探测器形成电信号;

[0010] 所述电信号经过所述信号采集及上位机模块进行放大、滤波、模数转换为数字信号后,完成数字信号的处理与分析;

[0011] 同时,所述拉曼光源中产生连续光,经过 2X2 分路器,分为 2 束光,分别进第一波分复用器、第二波分复用器,从正向和反向方向分别注入所述传感光纤中,通过拉曼散射效应,对由所述激光光源产生的光脉冲进行分布式放大,保证在所述传感光纤沿线的信号强

度；

[0012] 最后,在所述信号采集及上位机模块中,对多次脉冲过程中得到的信号进行重排,得到关于空间和时间的二维信号,供后续使用。

[0013] 所述模式识别方法包括以下步骤：

[0014] 采用计算散布矩阵的方法对图像的 10 个描述特征进行选择,将选取的特征作为分类器的输入,进行分类识别；

[0015] 通过高斯核函数、以及一对一的多分类决策,对所有训练样本进行测试,获取最终的分类结果；

[0016] 将多个分类器作为一个整体并选择 5-折交叉验证的方法对准确率进行评价；得出平均准确率和识别效率；

[0017] 将设计好的分类器应用于所述光纤预警系统现场对入侵事件进行实时监测识别。

[0018] 所述 10 个描述特征具体为：

[0019] 区域凸壳像素数、区域内的像素数、与区域有着相同二阶矩的椭圆的偏心率、与区域有着相同二阶矩的椭圆的长轴、与区域有着相同二阶矩的椭圆的短轴、与区域有着相同面积的圆的直径、区域中对象的数量减去这些对象中孔洞的数量、以及质心最小距离、形状特征和形装系数组成 10 个特征。

[0020] 本发明提供的技术方案的有益效果是：本方法通过对系统采集信号所形成的二维数字图像进行识别分类处理,能够有效识别出人行走、人工挖掘和过车事件,并进行事件定位,有效降低了预警系统的误报率。另一方面,普通的相干瑞利散射系统传感距离仅有 20 公里,本方案通过拉曼泵浦光对探测光进行持续放大,将传感距离增加到 50 公里以上。

附图说明

[0021] 图 1 为光纤预警系统的光路示意图；

[0022] 图 2 为三种事件二维信号时空图；

[0023] 其中,(a) 为人走;(b) 为人工挖掘;(c) 为卡车路过。

[0024] 图 3 为三种事件标记后图像；

[0025] 其中,(a) 为人走;(b) 为人工挖掘;(c) 为卡车路过。

[0026] 图 4 为区域质心间的距离示意图；

[0027] 图 5 为区域形状示意图；

[0028] 图 6 为 10 个特征值的散布矩阵准则值示意图；

[0029] 图 7 为 RVM 分类器训练过程示意图；

[0030] 图 8 为 RVM 分类器识别过程示意图。

[0031] 附图中,各标号所代表的部件列表如下：

[0032] 1:激光光源； 2:声光/电光调制器及其驱动器；

[0033] 3:光放大器； 4-1:第一光纤环形器；

[0034] 4-2:第二光纤环形器； 5:拉曼光源；

[0035] 6:2X2 分路器； 7-1:第一波分复用器；

[0036] 7-2:第二波分复用器； 8:光电探测器；

[0037] 9:信号采集及上位机模块； 10:传感光纤。

具体实施方式

[0038] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0039] 参见图 1, 光纤预警系统由: 激光光源 1、声光 / 电光调制器及其驱动器 2、光放大器 3、第一光纤环形器 4-1、第二光纤环形器 4-2、拉曼光源 5、2X2 分路器 6、第一波分复用器 7-1、第二波分复用器 7-2、光电探测器 8、信号采集及上位机模块 9、传感光纤 10 构成。

[0040] 由激光光源 1 所产生连续光, 经由声光 / 电光调制器 2 进行调制转换为光脉冲, 其中声光 / 电光调制器及其驱动器 2 由上位机模块写入 FGPA 的程序控制通断, 使连续光形成脉冲光, 光脉冲经光放大器 3 放大后, 由第一光纤环形器 4-1、第二光纤环形器 4-2 注入传感光纤 10 中, 其传播过程中所产生的背向传播散射光和反射光会沿与光脉冲传播方向相反的方向在传感光纤 10 中传播, 经由第二光纤环形器 4-2 进入光电探测器 8 形成电信号, 经过信号采集及上位机模块 9 进行放大、滤波、模数转换为数字信号后, 完成数字信号的处理与分析, 从而可以获得基于干涉原理和瑞利散射原理的分布式光纤传感器的测试结果。

[0041] 同时, 拉曼光源 5 中产生连续光, 经过 2X2 分路器 6, 分为 2 束光, 分别进第一波分复用器 7-1、第二波分复用器 7-2, 从正向和反向方向分别注入传感光纤 10 中, 通过拉曼散射效应, 对由激光光源 1 产生的脉冲光进行分布式放大, 保证光纤预警系统在传感光纤 10 沿线的信号强度。最后, 在信号采集及上位机模块 9 中, 对多次脉冲过程中得到的信号进行重排, 得到关于空间和时间的二维信号, 供后续使用。

[0042] 一种基于光纤预警系统的安全事件模式识别方法, 所述方法包括以下步骤:

[0043] 1、振动信号特征提取过程

[0044] 1) 将 Φ -OTDR 光纤预警系统采集到的二维信号以图像的形式进行输出, 利用图像处理

[0045] 技术对二维信号进行图像分割, 将二维信号事件发生区域与背景区分开;

[0046] 本发明实施例选择基于 Ostu 的阈值分割方法。利用中值滤波的方法去除图像中的噪点, 选择图像膨胀的方法消除区域中的空洞, 然后用不同颜色对图像中事件区域进行标记。

[0047] 2) 人行走、人工挖掘和过车是系统主要分辨的事件类型, 三种事件因为作用力不同, 因此获得的二维振动信号的振幅不同, 利用不同标记区域的原始信号振幅 (Amplitude) 作为特征向量中的一个特征值。

[0048] 3) 不同的事件在相同的采样率下, 事件点在时域上的间隔是不同的。首先计算各个区域的质心, 质心用 $C = [c_1, c_2, \dots, c_n]$ 表示, 其中 n 表示区域的个数。然后针对每个质心计算与其相邻的质心的距离并求最小距离。

[0049]
$$d_{\min i} = \min(|c_i - c_{i-1}|, |c_i - c_{i+1}|), i \in (2, \dots, n-1) \quad (1)$$

[0050] 如果图像中仅有一个特征区域, 无法获得质心间距离时, 则赋予该特征区域一个较大的值来表示距离。

[0051] 从图像中还可以观察到不同事件的区域形状也存在着差异, 利用形状 (Shap) 特征来增加特征的多样性。首先计算每个区域的边界 b_i , 然后根据公式 (3) 计算边界所有点到质心的距离。

$$[0052] \quad D_{ik} = |b_{ik} - c_i|, k \in (1, \dots, K) \quad (2)$$

[0053] 式中 K 为每个区域边界点的个数, 求每个区域边界点到质心的最大距离 $D_{i\max}$ 和最小距离 $D_{i\min}$, 由公式 (4) 计算每个区域的形状系数 S_i 。

$$[0054] \quad S_i = |D_{i\max} - D_{i\min}| \quad (3)$$

[0055] 为了能够更全面的描述区域特征, 本方法利用通用的区域描绘子加入到特征向量中。区域描绘子种类很多, 根据安全事件区域的特征选择其中最为相关的 7 个加入到特征向量中, 包括: 区域凸壳像素数 ConvesArea, 区域内的像素数 Area, 与区域有着相同二阶矩的椭圆的偏心率 Eccentricity, 与区域有着相同二阶矩的椭圆的长轴 MajorAxisLength, 与区域有着相同二阶矩的椭圆的短轴 MinorAxisLength, 与区域有着相同面积的圆的直径 EquivDiameter, EulerNumber 为区域中对象的数量减去这些对象中孔洞的数量。以上 7 个特征以及质心最小距离、形状特征和形装系数组成 10 个特征, 作为图像的描述特征量, 输入到下一步分析。

[0056] 尽可能全面的描述区域特征必然会使得特征向量维数过多, 不仅增加了复杂性, 而且过多的特征会增加特征之间的相关性, 导致分类错误。因此, 利用特征选择的方法进行降维不仅能提高分类精度, 而且大大降低识别效率。本发明采用计算散布矩阵的方法来进行特征选择。首先针对上文提到的 10 个图像描述特征量分别计算三类事件样本的类内散布矩阵和类间散布矩阵, 利用可分性准则式 (4) 来评价特征性能。

$$[0057] \quad J = \text{tr} \{S_w^{-1} S_m\} \quad (4)$$

[0058] 其中 S_w 是类内散布矩阵, S_m 为混合散布矩阵:

$$[0059] \quad S_m = S_w + S_b \quad (5)$$

[0060] 其中, S_b 是类间散布矩阵

[0061] 在 1 维空间中, 每一类的样本都很好的聚类在均值周围, 而且不同类是完全分离时, 该式计算值大。根据式 (4) 计算每个特征的可分性准则值, 选出准则值较大的特征进行分类识别。如图 6 所示, 分别计算各个特征的准则值, 第 2、3、4、6 号特征的准则值与其他特征的准则值相比更为显著, 表明其更适合作为分类依据, 在之后的分类器中应用时, 将选取这 4 个特征作为分类器输入。

[0062] 2. 安全事件分类识别

[0063] (1) 选取出准则值最显著的特征后, 将特征输入分类器进行分类识别。本发明采用相关向量机 RVM (Relevance Vector Machine) 的方法进行分类器的设计。分类器核函数选择高斯核函数。在进行多分类决策时, 选择分类精度最高的“一对一”的多分类决策, 即采用 3 个 RVM 分别对所有样本进行以下测试: 是否是人行走或人工挖局, 是否是人行走或车通过, 是否是人工挖掘或车通过; 之后判断出 3 个 RVM 结果中相同的事件类型, 将其为最终的分类结果。在使用分类器之前, 先用事先采集的训练样本对分类器进行训练, 并用准备好的测试样本测试所训练的分类器的性能。

[0064] (2) 将多个分类器作为一个整体并选择 5-折交叉验证的方法 [1] 对准确率进行评价。得出算法的平均准确率和识别效率。

[0065] (3) 将设计好的分类器应用于 Φ -OTDR 分布式光纤预警系统现场对入侵事件进行实时监测识别。

[0066] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明:

[0067] (1) 图 1 所示为光纤预警系统的系统工作原理示意图。系统由激光光源 1、声光/电光调制器 2、光放大器 3、光纤环形器 4、拉曼光源 5、2X2 分路器 6、波分复用器 7、光电探测器 8、信号采集及上位机模块 9、传感光纤 10 构成。由激光光源 1 所产生连续光,经由声光/电光调制器 2 进行调制转换为光脉冲,光脉冲由第一光纤环形器 4-1、第二光纤环形器 4-2 注入传感光纤 10 中,其传播过程中所产生的背向传播散射光和反射光会沿与光脉冲传播方向相反的方向在传感光纤 10 中传播,经由第二光纤环形器 4-2 的进入光电探测器 8 形成的电信号,经过信号采集及上位机模块 9 进行放大、滤波、模数转换为数字信号后,送入上位机中完成数字信号的处理与分析,从而可以获得基于干涉原理和瑞利散射原理的分布式光纤传感器的测试结果。同时,拉曼光源 5 中产生连续光,经过 2X2 分路器 6,分为 2 束光,分别进入第一波分复用器 7-1 和第二波分复用器 7-2,从正向和反向方向分别注入传感光纤 10 中,通过拉曼散射效应,对由激光光源 1 产生的脉冲光进行分布式放大,保证光纤预警系统在传感光纤 10 沿线的信号强度。最后,在上位机中,对多次脉冲过程中得到的信号进行重排,得到关于空间和时间的二维信号,供后续使用。

[0068] (2) 光纤预警系统采集到的人行走、人工挖掘和大车路过的二维信号经过滤波后的图像如图 2 所示。

[0069] (3) 利用图像处理技术中阈值分割的方法将事件区域从背景图像中提取出来,并对其进行中值滤波去除噪点,利用图像膨胀的方法消除区域中的孔洞,对图像中的事件区域进行标记,如图 3 所示。

[0070] (4) 利用形态学的特征提取方法对三种类型事件图像中的区域进行特征提取,包括事件振幅,区域间隔,区域形状以及区域描绘子,如图 4 和图 5 所示,特征提取后利用计算散布矩阵的方法对特征向量进行筛选去掉冗余特征,选择准则值较大的前四个特征作为特征向量,计算散布矩阵结果如图 6。

[0071] (5) 将上述特征向量输入到 RVM 分类器中对分类器进行训练,本发明采用一对一的多分类决策,待分类事件有人行走、人工挖掘和打车路过,故需要三个 RVM 分类器。训练流程以及识别过程如图 7,分类器 RVM1 负责区分人走动和人工挖掘事件,分类器 RVM2 负责区分人工挖掘和大车路过事件,分类器 RVM3 负责区分人走动和大车路过事件,分别使用准备好的数据样本对三个分类器进行相应事件的分类训练。识别过程由图 8 所示,待识别事件的特征量同时送入 RVM1、RVM2 和 RVM3 中,之后三个分类器都给出分类结果,其中 2 个分类器的结果是对应真实事件类型的,最后以多数原则选定最终分类的结果。

[0072] (6) 每种事件 100 个样本中选择 20 个样本对分类器性能进行测试,并利用交叉验证的方法评价测试结果。

[0073] (7) 信号特征随后进入已训练好的分类器中,得到的结果是分类器对入侵事件识别的结果,该结果被送到上位机进行显示。

[0074] 参考文献

[0075] [1] 武婷婷. 分类器性能评价研究 [D]. 北京交通大学, 2010.

[0076] 本领域技术人员可以理解附图只是一个优选实施例的示意图,上述本发明实施例序号仅仅为了描述,不代表实施例的优劣。

[0077] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

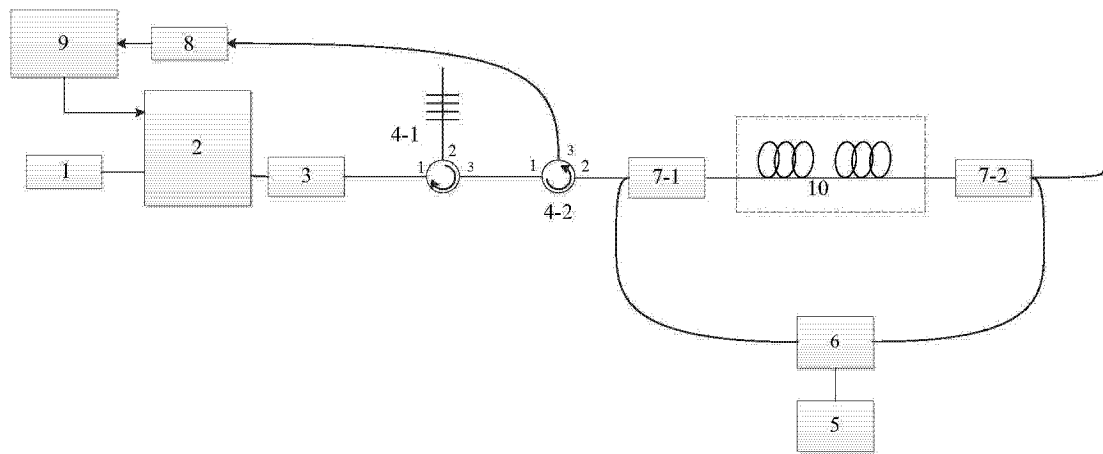
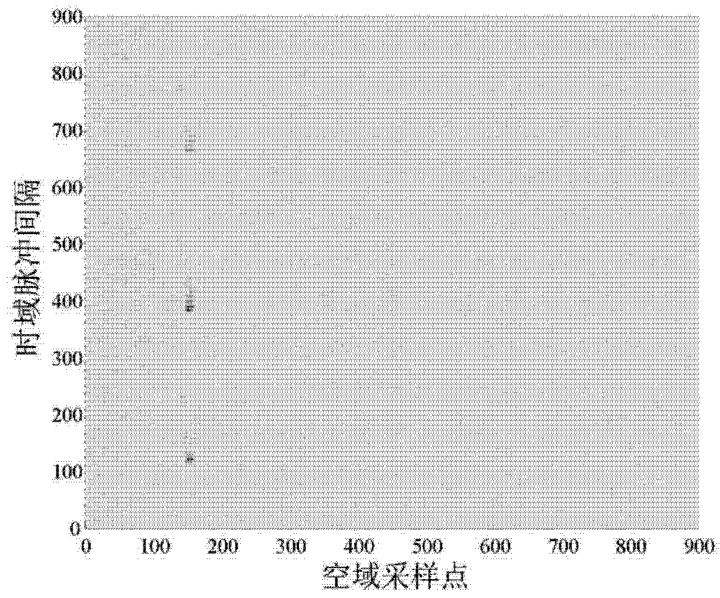
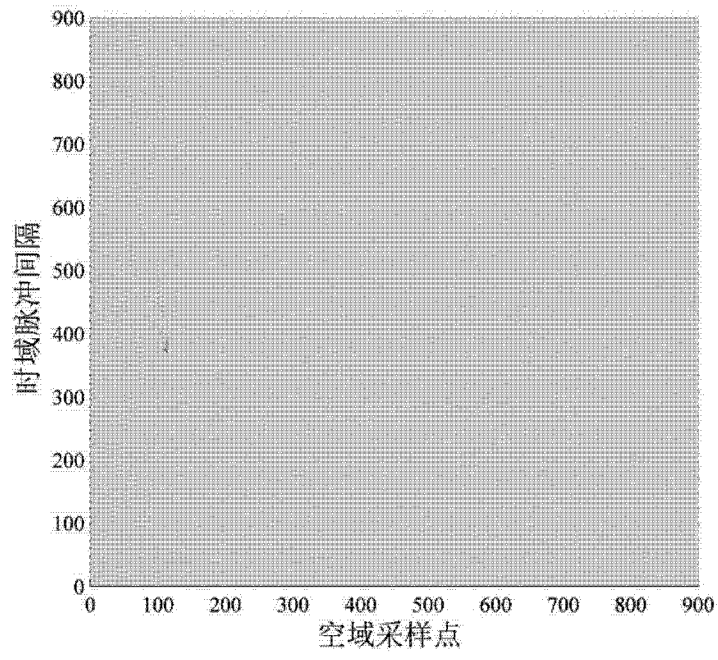


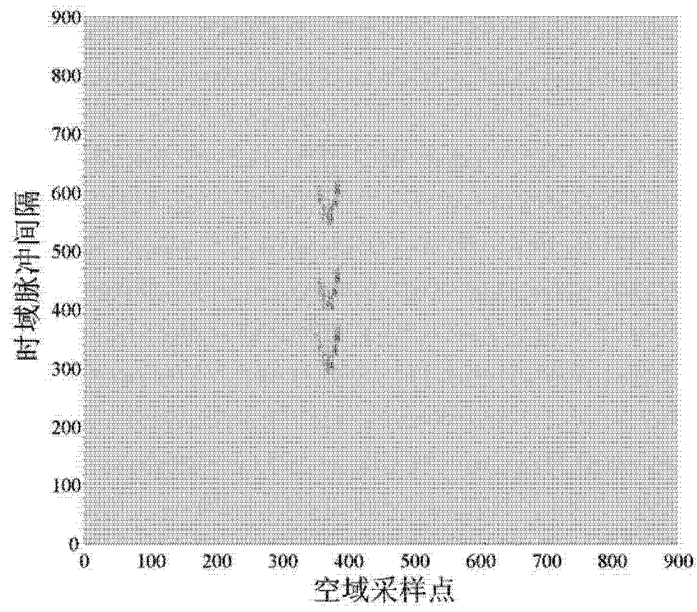
图 1



(a)



(b)



(c)

图 2

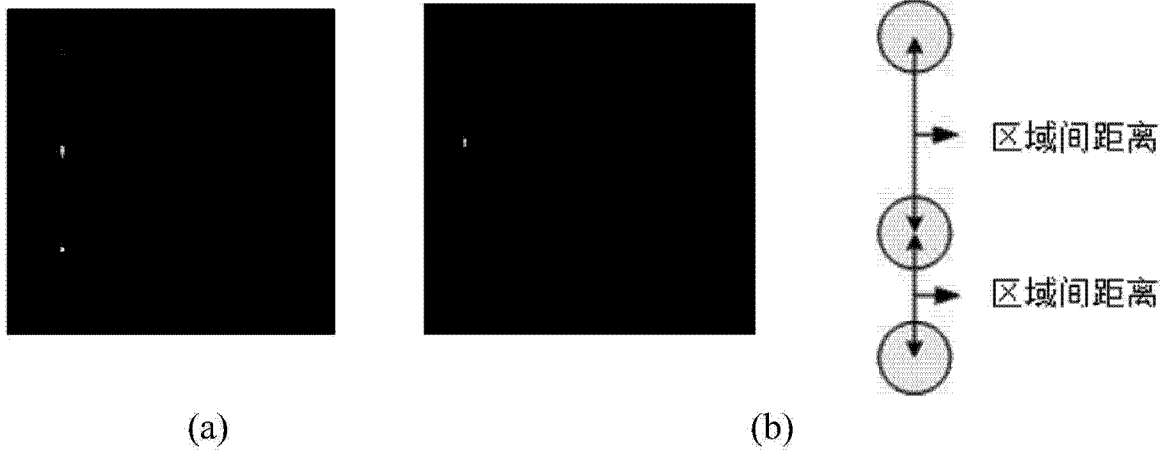
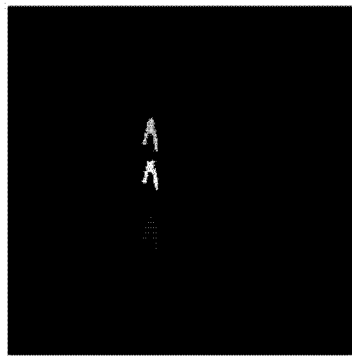


图 4



(c)

图 3

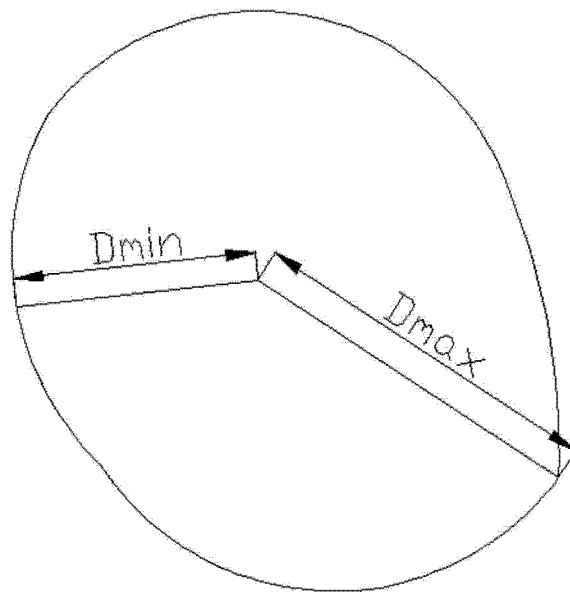


图 5

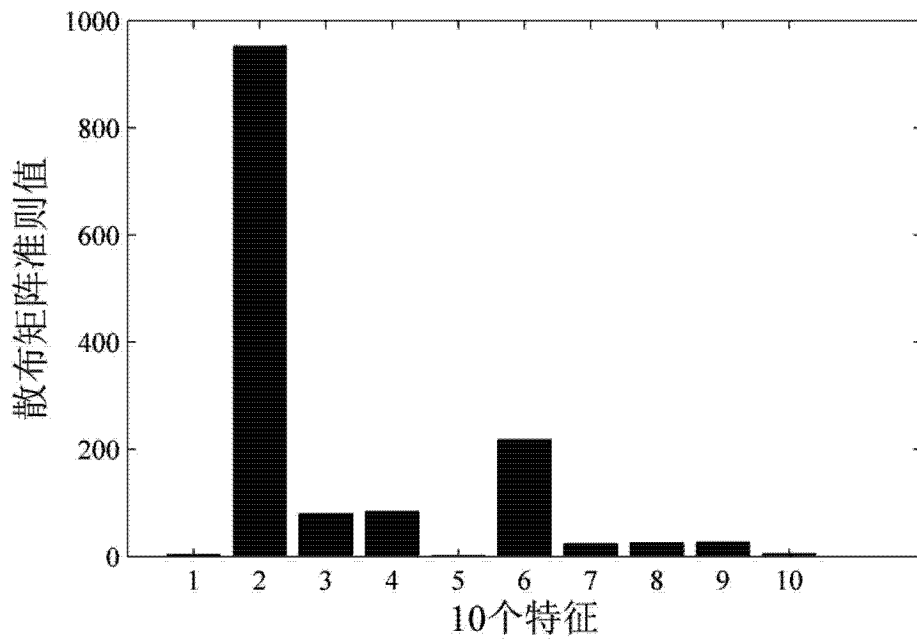


图 6

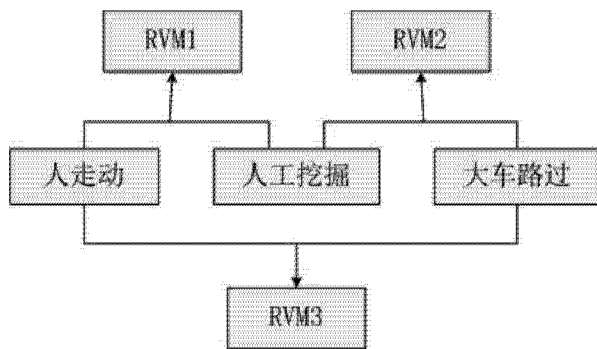


图 7

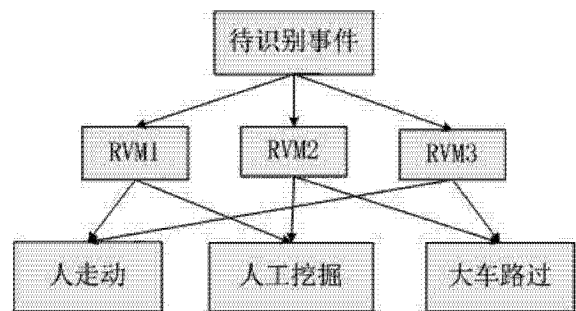


图 8