

故障诊断

人脸识别

模式识别

人脸识别 ④

计算机科学 1999 Vol. 26 No. 8

智能故障诊断^{*}

Intelligent Fault Diagnosis

董 聪 郭晓华

(清华大学 北京 100084)(中国科学院模式识别国家重点实验室 北京 100080)

Abstract A systematic introduction is made on the two type of methods for recognition and location of structural damage, one of which is based on strain type parameters (such as strain, strain modal shape, curvature modal shape, and so on), and another is based on displacement type parameters (such as displacement, displacement modal shape, flexibility matrices, and so on). The following phoneme is discovered that the methods based on displacement type parameters exist possibility of giving a wrong damage location. Based on the localized characteristics of damage, some new formula for recognition and location of damage based on local parameter changes are suggested. Besides, some related problems such as face recognition or signature recognition are also discussed, and some of ideals are presented.

Keywords Strain modal shape, Displacement modal shape, Damage location, Face recognition

一、引言

长期以来,基于动力特性的结构故障诊断方法一直是国际学术界和工程界关注的热点,但至今缺乏有效的解决方案^[1-3]。结构故障诊断的核心是损伤识别与定位,其中,损伤定位问题尤为困难^[1]。损伤识别属于广义模式识别的范畴,因此,从逻辑的角度讲,要进行损伤识别与定位,首先需要解决损伤标识量的选择问题,即决定以哪些物理量为依据能够更好地识别和标定损伤的程度与方位。我们发现,用于损伤识别的物理量可以是全局量,如结构的固有频率等,但用于损伤定位的物理量最好是局域量,且需满足2个基本条件:1)对局部损伤敏感;2)是位置坐标的单调函数。如果用于损伤定位的物理量不是局域量或不满足上述2个基本条件的话,则必须解决复杂的反演问题。研究表明,尽管可附加约束条件使反演结果唯一,却没有充分的理由确信反演结果与实际结果之间存在一致的相合关系。

本文推导出结构应变矢量 $\{\varepsilon\}$ 和结构应变模态矩阵 $[\Psi]$ 、结构自振频率矩阵 $[Y_r]$ 、结构位移模态矩阵 $[\Phi]$ 三者之间的一阶变分关系,从中揭示出损伤

定位的合理方案。在此基础上,本文提出了基于最简拓扑构造网络的结构损伤识别与定位的智能化算法。

从数学上讲,人脸(指纹)识别和结构损伤识别是类似的,特征脸法^[4]类似于基于结构固有频率的损伤识别方法,而弹性匹配法^[7]则类似于基于模态保障准则(Modal Assurance Criterion, MAC)的损伤识别方法。正是基于这种相似性,本文发现,结构损伤识别和人脸(指纹)识别之间有许多成功的经验可相互借鉴。通过类比推理,本文对人脸(指纹)识别问题提出了一些新的识别算法。

二、基于动力特性的损伤识别与定位方法

对于动力学方程

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} + [C]\{\dot{x}\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

设 $\{f(t)\} = \{F\}e^{i\omega t}$, $\{x\} = \{X\}e^{i\omega t}$,并作解耦坐标变换:

$$\{X\} = [\Phi]\{q\} = \sum_{r=1}^n q_r [\Phi_r] \quad (2)$$

则式(1)变为频域方程

$$(-\omega^2[m_r] + [k_r] + j\omega[c_r])\{q\} = [\Phi]^T\{F\} \quad (3)$$

* 国家自然科学基金(59505011, 59778039)、863计划(863-2-441)和国家重点实验室基金资助项目

其中, $[M]$ 、 $[K]$ 、 $[C]$ 分别为质量矩阵、刚度矩阵和阻尼矩阵, $\{f(t)\}$ 为载荷矢量, $[\Phi]$ 为正则化主模态矩阵, $\{q\}$ 为广义坐标, $[m_r]$ 、 $[k_r]$ 、 $[c_r]$ 分别为模态质量、模态刚度和模态阻尼矩阵, $[m_r]$ 为单位阵, $[k_r]$ 和 $[c_r]$ 为对角阵。

由式(2)和式(3)得

$$\{X\} = [\Phi] [Y] [\Phi]^T \{F\} \quad (4)$$

式中, $[Y] = (-\omega^2 [m_r] + [k_r] + j\omega [c_r])^{-1}$ 。

3 维空间中, 将位移矢量 $\{X\}$ 、主模态矩阵 $[\Phi]$ 、激励力矢量 $\{F\}$ 及矩阵 $[Y]$ 按坐标 x, y, z 重新安排:

$$\begin{aligned} \{X\} &= \{U, V, W\}^T, [\Phi] = [\Phi_x, \Phi_y, \Phi_z]^T, \\ \{F\} &= \{F_x, F_y, F_z\}^T, [Y] = [Y_r] \end{aligned} \quad (5)$$

于是

$$\begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \\ \Phi_z \end{Bmatrix} [Y_r] \begin{Bmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \\ \Phi_z \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} \quad (6)$$

其中, $\{P\} = [\Phi]^T \{F\}$ 代表 $[\Phi]$ 与 $\{F\}$ 沿轴向的积分, 是 $[\Phi]$ 的函数 (不一定是常量), 但不再是 x, y, z 的函数。

根据弹性力学原理, 结构的正应变分量为:

$$\begin{aligned} \{\varepsilon\} &= \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial y} \\ \frac{\partial W}{\partial z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial \Phi_x}{\partial x} \\ \frac{\partial \Phi_y}{\partial y} \\ \frac{\partial \Phi_z}{\partial z} \end{Bmatrix} [Y_r] \begin{Bmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \\ \Phi_z \end{Bmatrix}^T \{F\} \\ \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} &= \begin{Bmatrix} \Psi_x \\ \Psi_y \\ \Psi_z \end{Bmatrix} [Y_r] \begin{Bmatrix} \Phi_x \\ \Phi_y \\ \Phi_z \end{Bmatrix}^T \begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

$[\Psi] = [\Psi_x, \Psi_y, \Psi_z]^T$ 称为正应变模态。

式(7)可写成

$$\{\varepsilon\} = [\Psi] [Y_r] [\Phi]^T \{F\} \quad (8)$$

$\{\varepsilon\}$ 对结构参数变化的一阶变分关系为:

$$\{\Delta\varepsilon\} = [[\Delta\Psi][Y_r][\Phi]^T + [\Psi][\Delta Y_r][\Phi]^T + [\Psi][Y_r][\Delta\Phi]^T] \{F\} \quad (9)$$

式(9)表明, 由结构损伤而导致的结构应变变化 $\{\Delta\varepsilon\}$ 主要由结构应变模态的变化 $[\Delta\Psi]$ 、结构自振频率的变化 $[\Delta Y_r]$ 和结构位移模态的变化 $[\Delta\Phi]$ 三者综合而成, 因此, 从损伤识别的角度讲, 基于 $[\Delta\Psi]$ 、 $[\Delta Y_r]$ 或 $[\Delta\Phi]$ 的损伤识别方法在理论上都是可行的, 差异仅在精度方面。由于损伤是典型的局域行为, 由圣维南原理可以推知, 损伤对结构特性的影响程度依 $[\Delta\Psi] \rightarrow [\Delta\Phi] \rightarrow [\Delta Y_r]$ 的顺序递减, 也就是说, 基于 $[\Delta\Psi]$ 的损伤识别算法的损伤识别效果通常

最好。从损伤定位的角度讲, 由于 $\{\Delta\varepsilon\}$ 和 $[\Delta\Psi]$ 的变化在位置坐标上存在一致的对应关系, $\{\Delta\varepsilon\}$ 和 $[\Delta Y_r]$ 的变化在位置坐标上没有明确的对应关系, 而 $\{\Delta\varepsilon\}$ 和 $[\Delta\Phi]$ 的变化在位置坐标上则不存在一致的对应关系, 因此, 基于 $[\Delta\Psi]$ 的损伤定位方法在理论上存在正确定位的可能, 基于 $[\Delta Y_r]$ 不能进行损伤定位, 而基于 $[\Delta\Phi]$ 的损伤定位方法理论上则存在错误定位的隐忧。

从式(9)可以看出, $[\Delta\Psi]$ 、 $[\Delta Y_r]$ 和 $[\Delta\Phi]$ 均和外载 $\{F\}$ 没有发生直接关联, 也就是说, 它在一定程度上反映了结构自身的内禀属性。

设 $[\Psi_r]$ 和 $[\Psi_{D,r}]$ 分别为完好结构和有损伤结构的应变模态矩阵, 下面则重点讨论基于应变模态矩阵变化的损伤定位的具体方法及存在的问题和改进措施。

常用的一种损伤定位方法是基于相关原理的, 由式(10)表述。

$$\begin{cases} \rho(k^*) = \min_k \{\rho(k)\} \\ \rho(k) = \frac{\sum_{j=1}^{D(k)} [\Psi_{r,j}] [\Psi_{D,j}]}{\sqrt{\sum_{j=1}^{D(k)} [\Psi_{r,j}]^2 \sum_{j=1}^{D(k)} [\Psi_{D,j}]^2}} \end{cases} \quad (10)$$

其中, $[\Psi_{r,j}]$ 为 $[\Psi_r]$ 的第 j 阶模态对应于坐标 k 的分量, 最可能的损伤位置位于坐标 k^* 处。

构件的损伤会导致结构局部刚度的下降, 结果使损伤部位邻域的应变分布发生显著变化, 根据圣维南原理, 距损伤部位较远处的结构应变分布变化迅速衰减, 因此, 可以推测, 式(11)的定位效果可能优于式(10)的定位效果。

$$\begin{cases} \rho(k^*) = \min_j \{\rho(k^*, j)\} \\ \rho(k^*, j) = \max_k \left\{ \frac{\sum_{i=k}^{D(k)} [\Psi_{r,i}] [\Psi_{D,i}]}{\sqrt{\left(\sum_{i=k}^{D(k)} [\Psi_{r,i}]^2\right) \left(\sum_{i=k}^{D(k)} [\Psi_{D,i}]^2\right)}} \right\} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $\sum_{i=k}^{D(k)}$ 表示对坐标 k 及其邻域 $\delta(k)$ 中的其它坐标求和。

式(11)实际上可分解为两步: 1) 根据第 j 阶应变模态的信息确定最可能的损伤位置 $\rho(k^*, j)$; 2) 根据各阶应变模态的信息最终确定最可能的损伤位置 $\rho(k^*)$ 。现在的问题是, 根据各阶应变模态的信息确定的最可能损伤位置是否完全一致, 如果不完全一致的话, 按照什么原则做最后的抉择? 试验与计算结果表明, 根据各阶应变模态的信息确定的最可能

损伤位置不一定完全一致。式(11)采用按元素 $\rho(k^+, j)$ 的大小做最后抉择的方式,另外一种比较合理的抉择方式是,对根据各阶应变模态的信息确定的初步定位结果进行排序,并根据其序号,采用 k/n 表决器,即少数服从多数的原则决定最终的 $\rho(k^+)$ 。

试验与计算结果表明,基于 $\rho(k^+)$ 的损伤定位方法的定位效果(灵敏度)通常优于基于 $\rho(k')$ 的对比结果。原因是,损伤对各阶模态的影响方式是类似的(相关的),因此,损伤对各阶模态的影响用相关系数的改变来度量并不合理。将 $[\Psi]$ 代之以 $[\Phi]$,则式(10)和我们熟知的坐标模态保障准则(Coordinate Modal Assurance Criterion, COMAC)是类似的。换句话说,目前广泛采用的以 COMAC 的改变来度量和定位损伤的作法同样是不合理的。

另外一种损伤定位方法是以应变模态差的绝对值大小为依据的,具体作法是:

$$\Delta\psi = \|(\psi_i) - (\psi_n)\|_{\infty} = \|[\Delta\Psi]\|_{\infty} \quad (12)$$

其中, $\Delta\psi$ 为完好结构与有损伤结构应变模态差之绝对值最大的元素,则最可能的损伤位置位于 $\Delta\psi$ 处。

式(12)实际上可分解为两步:1)寻找 $[\Delta\Psi]$ 各列元绝对值最大的元素 $\Delta\psi'$;2)寻找各 $\Delta\psi'$ 中绝对值最大的元素 $\Delta\psi$ 。由于元素 $\Delta\psi'$ 所在的坐标位置事实上是根据第 j 阶应变模态差确定的最可能损伤位置,因此,现在的问题是,根据各阶应变模态差确定的最可能损伤位置是否完全一致,如果不完全一致的话,按照什么原则做最后的抉择?试验与计算结果表明,根据各阶应变模态差确定的最可能损伤位置不一定完全一致。直观上人们倾向于采用按元素 $\Delta\psi'$ 的大小做最后的抉择,这无疑是一种抉择方式,但不一定是最合理的方式。比较合理的抉择方式是:1)将 $[\Delta\Psi]$ 各列元按绝对值大小进行排序,并根据其序号,采用 k/n 表决器,即少数服从多数的原则决定最终的 $\Delta\psi'$;2)将 $\Delta\psi'$ 定义为 $[\Delta\Psi]$ 各行元素绝对值之和或平方和的最大值;3)考虑权重 $\{q_i\}$ 的影响,即考虑荷载和结构细节的相互作用。

试验与计算结果表明,对于大多数模态,在局部损伤位置应变模态差有明显的峰值,且峰值大小随损伤程度的增加而增加,因此,基于应变模态差不仅可进行局部损伤定位,而且可标定损伤的程度。与基于位移模态的损伤定位方法相比,设计合理的分类准则可确保基于应变模态差的损伤定位方法原则上不存在误定位的问题。

曲率模态是应变模态的一种特殊形式,因此,基于曲率模态的损伤定位方法和基于应变模态的损伤定位方法本质上是相同的,此处不赘述。

由于结构柔度矩阵是其位移模态矩阵的广义泛函,且两者的一阶变分在位置坐标上存在一致的对应关系,因此,基于柔度矩阵的损伤定位方法和基于位移模态矩阵的损伤定位方法本质上是相同的,前者目前用得较广,下文作简要的介绍和评论。

由位移模态矩阵 $[\Phi]$ 可得结构的柔度矩阵 $[A]$:

$$[A] = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^2} [\Phi]_i [\Phi]_i^T \quad (13)$$

由上式可知,柔度矩阵 $[A]$ 可由低阶位移模态得到较准确的估计,结构损伤将导致结构局部柔度的增加,因此, Pandey 认为,根据柔度变化理应能够定位结构的损伤,并通过实验证明了自己的观点^[1]。

由式(13)可得柔度矩阵 $[A]$ 的一阶变分为:

$$[\Delta A] = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\omega_i^2} \left\{ \frac{-2\Delta\omega_i}{\omega_i} [\Phi]_i [\Phi]_i^T + [\Delta\Phi]_i [\Phi]_i^T + [\Phi]_i [\Delta\Phi]_i^T \right\} \quad (14)$$

可见,柔度矩阵的变化 $[\Delta A]$ 同时综合了位移模态的变化 $[\Delta\Phi]$ 和频率的变化 $[\Delta\omega]$,因此,基于柔度矩阵的损伤定位方法和基于位移模态矩阵的损伤定位方法虽然本质上是相同的,但对具体问题的处理上则可能存在一些差异。从模式识别的角度讲,应尽可能地避免以复合因素的作用结果作为识别指标,换句话说,以 $[\Delta\Phi]$ 为依据比以 $[\Delta A]$ 为依据来定位损伤通常更容易些。

设 Δ_i 为完好结构柔度矩阵 $[A]_r$ 与有损结构柔度矩阵 $[A]_n$ 之差的绝对值最大的元素,即

$$\Delta_i = \| [A]_r - [A]_n \|_{\infty} \quad (15)$$

则最可能的损伤位置位于 Δ_i 处,可以推知,式(15)和式(12)的意图是类似的,但对式(12)的分析表明,基于 Δ_i 的损伤定位方法在理论上存在错误定位的隐忧。

有损悬臂梁的弯曲实验证实,与基于位移模态差的损伤定位方法一样,基于 Δ_i 的损伤定位方法确实存在错误定位的问题。原因是,位移是典型的累加量,因此,位移最大处和损伤最大处并不必然合二为一,事实上,柔度矩阵中的每一列代表在某一自由度施加单位力后各个观测结点的位移。因此,在施力节点和观测节点力传输路径上的任何损伤都将导致观测节点位移的改变,换句话说,观测节点位移的改变并不必然意味着观测节点的邻域有损伤存在。

对基于柔度矩阵的损伤定位方法及其实验结果的讨论使我们认识到,如果在理论上不能给以充分证明的话,则根据少数实验结果否定一种方法的有效性是充分的,但确证一种方法的有效性则并不充分。

一个好的准则应当不但能解释其他准则也能解释的现象,还应能解释其他准则不能解释的现象;应当不但能解释业已观测到的现象,还应能预测新的现象。换句话说,一个好的准则应当是实验事实和理性思维的综合,而不仅仅是有限实验结果的简单回归。

三、人脸(指纹)识别的新方法

人脸(指纹)图像可以用矩阵表示。假设第*i*个人脸图像的矩阵表示为 $[A_i]$, $[A_i]$ 是一个 $N \times M$ 阶实数矩阵。定义第*i*个人脸图像 $[A_i]$ 的识别基准矩阵为

$$[K_i] = \begin{cases} [A_i][A_i]^T & (N \geq M) \\ [A_i]^T[A_i] & (N < M) \end{cases} \quad (16)$$

则 $[K_i]$ 是一个 $n \times n$ 阶实对称矩阵, $n = \max(N, M)$ 。

定义 $[K_i]$ 的第*j*个特征值为 $\omega_i^{(j)}$,对应于特征值 $\omega_i^{(j)}$ 的正则化特征向量为 $\{\phi_i^{(j)}\}$,则由谱分解定理知:

$$[K_i] = \sum_{j=1}^n \omega_i^{(j)} \{\phi_i^{(j)}\} \{\phi_i^{(j)}\}^T \quad (17)$$

由于矩阵的特征值和对应的正则化特征向量是矩阵的一种内禀属性,因此,它们可用来作为人脸识别的标识量。

将人脸图像和结构系统进行对比,则人脸图像的识别基准矩阵 $[K_i]$ 类似于结构的总体刚度矩阵 $[K]$, $[K_i]$ 的特征值 $\omega_i^{(j)}$ 类似于结构自振频率 ω_j 的平方, $[K_i]$ 的正则化特征向量 $\{\phi_i^{(j)}\}$ 类似于结构的正则化位移模态 $\{\Phi_j\}$ 。因此,结构损伤识别的一些方法和结论应当同样适用于人脸识别。

如以特征值为基础,则可以采用(18)式来判断给定脸谱 $[K]$ 和脸谱库中的哪一个脸谱更接近,并将最近的脸谱编号赋给 B^* ,即:

$$\begin{cases} B^* = \{i | \max(\rho(i))\} \\ \rho(i) = \frac{\sum_{l=1}^S \omega_i^{(l)} \bar{\omega}^{(l)}}{\sqrt{[\sum_{j=1}^S (\omega_i^{(j)})^2][\sum_{j=1}^S (\bar{\omega}^{(j)})^2]}} \end{cases} \quad (S \leq n) \quad (18)$$

以正则化特征向量为基础,可给出由(19)式描述的脸谱识别公式:

$$B^* = \{i | \max(\rho(i))\} \quad (19)$$

其中, $\rho(i)$ 可根据对问题的理解采用以下4种方式(20a~20d)来定义。

$$\rho(i) = \frac{\sum_{j=1}^n \{\phi_i^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}}{\sqrt{[\sum_{j=1}^n \{\phi_i^{(j)}\}^T \{\phi_i^{(j)}\}][\sum_{j=1}^n \{\bar{\phi}^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}]} \quad (20a)$$

$$\rho(i) = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_i^{(j)} \{\phi_i^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}}{\sqrt{[\sum_{j=1}^n (\omega_i^{(j)})^2 \{\phi_i^{(j)}\}^T \{\phi_i^{(j)}\}][\sum_{j=1}^n (\bar{\omega}^{(j)})^2 \{\bar{\phi}^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}]} \quad (20b)$$

$$\rho(i) = \max_j \rho(i, j) \quad (20c)$$

$$\rho(i) = \min_j \rho(i, j) \quad (20d)$$

其中, $\rho(i, j)$ 定义为:

$$\rho(i, j) = \frac{\{\phi_i^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}}{\sqrt{[\{\phi_i^{(j)}\}^T \{\phi_i^{(j)}\}][\{\bar{\phi}^{(j)}\}^T \{\bar{\phi}^{(j)}\}]} \quad (21)$$

式(20a)、(20b)均是以脸谱的所有阶特征向量的完整信息为基础来判断脸谱间的相似程度。考虑到根据各阶特征向量的信息确定的最可能人脸或许并不完全一致,因此,式(20c)给出的是脸谱各阶特征向量相似程度的上界,也就是说,它对脸谱中某些细节的相似性给予了特别的关注;而式(20d)给出的是脸谱各阶特征向量相似程度的下界,它强调,脸谱间的相似应延伸至脸谱的每一个细节。

如果人脸图像间的相似性可以用人脸图像识别基准矩阵的某一类特征参数间的相互关系来表征,而人们目前并不清楚这种关系的确切描述的话,则具有最简拓扑结构的前向网络可自动提取这类关系^[3]。

我们发现,人脸识别的关键在于选择合适的不变特征作为识别的基准。除了矩阵的特征值和对应的正则化特征向量是矩阵的一种内禀属性之外,人脸图像中任意两个同方向线段的比值同样具有旋转和比例缩放的不变性,而任意两对非平行的同方向线段构成的集合则不仅可用于图像识别,同时也可用于识别图像的变化关系。人脸图像中两耳间距和

(下转第33页)

是按上述的基本 Web 管理结构实现一个新系统;二是在现有的网络管理系统中通过扩充一个 Web 管理服务(WMS)模块来实现。显然,后者可以大大缩短开发周期,且具有较高的性能/价格比,因此,我们采用后者来实现基于 Web 的管理系统。

WMS 由客户端程序、HTTP 服务器和 CGI 程序组成。客户端程序是用 Java Applet 或 HTML 开发的,用户使用 Web 浏览器从 HTTP 服务器下载并执行这些 Applets,它们为用户提供了基于 Web 的集成化管理用户界面,HTTP 服务器接收并处理 Web 浏览器发出的客户请求,如果客户请求的文档与一个 CGI 程序有关,则 HTTP 服务器转去执行该 CGI 程序,CGI 程序沟通了 HTTP 服务器与现有管理平台的联系,将 HTTP 请求转换成相应管理模块的调用命令,并且将该模块返回的结果转换成 HTTP 响应返回给 HTTP 服务器,再由 HTTP 服务器返回给客户端。

总结 Web 技术极大地推动了 Internet/Intranet 的发展,带动了相关技术的进步。因此,网络管理技术也不可避免地受到很大的影响。基于 Web 的管理技术改进了系统管理工具,使管理应用程序独立于平台,且与基于 Web 浏览器的用户界面相分离,为系统管理工具增加了很大的灵活性和便捷性。

由于网络管理系统采用管理器/代理模型,网络

管理信息主要通过两个途径来获取:一是管理器通过轮询各个设备代理来获取;二是由设备代理通过发送报警(Trap)报文来报告。作为一种网络管理系统必须能够提供连续轮询管理信息,设备故障报警以及管理信息存储和访问等方面的能力。从这个角度来看,基于 Web 的管理技术目前还有一定的局限,如缺乏主动的报警机制和丰富的图形用户界面工具等,尚不能完全解决网络管理问题,有待于进一步的发展。

参考文献

- 1 WBEM Consortium. Available at : <http://wbem.freerange.com/>
- 2 WBEM schema overview. Available at: <http://www.microsoft.com/>
- 3 JMAPI Sun Microsystems. Available at: <http://java.sun.com/products/JavaManagement>
- 4 Raouf B. An outlook on Intranet management. IEEE Comm., 1997(October): 92~99
- 5 James W, et al. Web-Based Intranet Services and network management. IEEE Comm., 1997(October): 100~110
- 6 Bhumup K. Intranets, Technologies, Services, and management. IEEE Comm., 1997(October): 84~91

(上接第22页)

眼间距,眼鼻之间的竖向间距和眼嘴之间的竖向间距即为两对非平行的同方向线段,因此,它们构成的集合不仅可用于脸谱的识别,同时也可用于识别脸谱的变化关系。

结论 综上所述,不难得出以下结论:

1. 以应变类参数(应变、应变模态、曲率模态等)为基础的损伤定位方法明显优于以位移类参数(位移、位移模态、柔度矩阵等)为基础的损伤定位方法,且后者理论上存在错误定位的隐忧。

2. 鉴于损伤的局域特征,采用以局域特征变化为依据的损伤定位方法是有效的。

3. 结构损伤识别和人脸(指纹)识别在数学方法是相似的,相互之间有许多好的方法可以借鉴。

参考文献

- 1 董聪,夏人伟. 智能结构设计与控制中的若干核心技术问题. 力学进展, 1996, 26(2)
- 2 Pandey A K, et al. Damage Detection from Changes in

Curvature Mode Shapes. Journal of Sound and Vibration 1991, 142(2)

- 3 Pandey A K, Biswas M. Damage Detection in Structures using Changes in Flexibility. Journal of Sound and Vibration, 1994, 169(1)
- 4 Yam L H. Theoretical and Experimental Study of Modal Strain Analysis. Journal of Sound and Vibration, 1996, 191(2)
- 5 Salawu O S. Detection of Structural Damage through Changes in Frequencies: A Review. Engineering Structures, 1997, 19(9)
- 6 Turk M A, Pearlman A P. Face Recognition using Eigenfaces. In: Proc. IEEE Computer Society Conf. Computer Vision and Pattern Recognition. Maui, Hawaii, 1991
- 7 Wiskott L, et al. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7)
- 8 董聪. 多层前向网络的逼近机理与拓扑结构学习方法. 通信学报, 1998, 19(3)