

雾霾污染下基于混沌性的图像去雾算法改进

睢 丹^{1,2}, 张亚利³, 杨 杰²

(1. 安阳师范学院 软件学院, 河南 安阳 455000; 2. 武汉理工大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430070;
3. 安阳学院 计算机系, 河南 安阳 455000)

摘 要: 传统基于边缘保持滤波的单幅图像快速去雾算法, 在雾霾污染大气粒子散射作用下, 图像会受到雾化背景的干扰, 出现浓雾噪点, 图像结构信息复原效果较差. 提出一种基于混沌性的加权滤波图像快速去雾算法, 通过分析雾天雾化背景干扰下的图像信息, 获取图像数据的混沌特性, 并对雾化图像进行最小颜色分量估计. 在此基础上, 结合带雾图像暗原色模型、时域和频域特征分量模型, 构建出自适应加权滤波模型, 完成基于混沌性的加权滤波图像快速去雾算法的改进设计. 实验结果表明, 采用该算法能避免雾化图像中间区域的颜色失真, 降低雾化背景干扰, 减少浓雾噪点, 使远景的混沌特征得到合理的保留, 在图像质量和运算性能方面都具有优越性.

关键词: 雾霾天气; 混沌性; 去雾算法; 改进研究

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A doi:10.13705/j.issn.1671-6833.2016.04.020

0 引言

近年来, 随着计算机数字图像处理技术的快速发展, 在图像处理过程中, 对模糊图像进行滤波降噪, 提高图像成像的清晰度, 挖掘和提取出图像的有用特征, 进而改善图像成像质量, 提高目标图像的识别能力^[1-2]是一个重要的研究课题. 特别是对特殊环境下图像的处理, 例如在雾霾环境下对拍摄图像的去雾处理是基于对大气粒子散射的作用了解下进行的. 由于图像成像受到雾化背景的干扰, 而出现浓雾噪点, 就需要对雾化背景干扰下的浓雾图像进行去雾处理, 来提高图像的清晰度, 最终便于对图像目标场景信息的分析和识别^[3-5].

文献[6]提出基于雾化图像的约束进化时频加权滤波去雾算法, 该算法以图像暗原色为新的图像特征, 实现去雾处理, 但是, 该方法只对雾化图像的边缘雾点去雾效果好, 对局部去雾效果不明显. 文献[7]提出基于边界邻域最大值滤波的快速图像去雾算法, 通过对边界邻域进行最大值滤波, 消除高亮度物体对图像的影响, 获得准确的大气光值, 使去雾结果的颜色保真度较高, 但是该方法在应用中比较繁琐. 文献[8]提出基于二次

滤波的单幅图像快速去雾算法, 通过提高透射率的估算精度, 来恢复图像的亮度, 该算法过于简单, 去雾效果不好. 文献[9]提出基于暗原色和加权形态滤波增强算法, 利用形态学滤波方法, 估计雾浓度图像并实现图像的去雾处理. 该方法既能平滑雾浓度图, 又能很好地保留场景的边缘, 估计出的雾浓度图更加精确, 但是应用范围比较窄. 针对上述问题, 笔者提出基于雾天混沌性传统图像去雾算法的改进.

1 雾霾天雾化背景干扰下的图像分析

1.1 雾霾天环境下图像数据的混沌性证明

针对文献[7]中提出的基于边缘保持滤波单幅图像快速去雾算法, 在大气散射环境下, 图像采集过程中会受到雾化环境的干扰, 排除这种干扰需要证明图像像素的混沌性, 雾霾天环境下采集的图像最直接的表现就是模糊, 即所谓的图像失真, 这种失真带有混沌性, 表1给出了产生图像失真的原因而导致的结果.

由表1可知, 由于雾霾天气产生雾化程度不同, 导致失真的原因也不同, 同时失真处理结果也不同. 当无雾霾时, 产生失真的主要原因是动作的变化产生一定的混沌性, 可通过调整拍摄模式来

收稿日期: 2015-10-25; 修订日期: 2015-12-18

基金项目: 河南省科技攻关项目(132102210212)

通信作者: 睢丹(1976—), 女, 河南安阳人, 安阳师范学院副教授, 博士研究生, 主要从事计算机图像处理与模式识别等方面的研究, E-mail: aynusd@163.com.

进行处理;当存在低到中度雾霾时,主要是由于环境及传输延迟产生混沌性,可通过对环境外景进行处理或重新进行传输;当存在重度雾霾时,主要是由于图像延迟产生混沌性,导致无法进行处理,这种混沌性的存在是通过雾霾天环境下拍摄的图像失真程度来体现.

表 1 雾霾天雾化环境下图像失真的原因结果分析图
Tab.1 Haze days atomization environment reasons of the distortion of image analysis results

图像种类	失真原因	失真结果处理
雾霾	图像延迟	无法进行处理
中度雾霾	传输延迟	重新进行传输
低度雾霾	环境干扰	环境外景进行处理
无雾霾	动作扑捉	拍摄模式进行调整

基于对雾霾环境下混沌性的了解可知,这种混沌性的产生主要是基于其所处的环境,比如在雾霾天和雨天等非正常环境.在雾霾环境下对图像像素的混沌性,可以通过图像像素失真的早期数据来进行分析,只是这种混沌性表现的不是很明显,只有在遇到雾霾天这样的环境下才会释放出来.通过这些图像采集像素数据的最大 Lyapunov 指数是否大于 0 来验证图像像素的混沌性.图像像素发生失真的数据时域波形,如图 1 所示.运用 Matlab 对得到的图像失真失效数据进行 Lyapunov 指数图的分析,形成图像失真时 Lyapunov 指数,如图 2 所示.

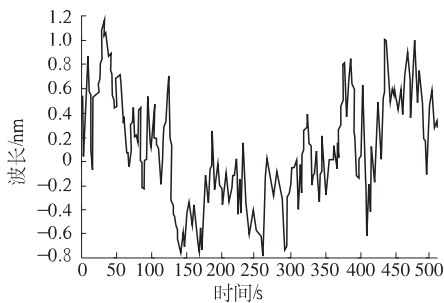


图 1 图像像素发生失真的时域波形
Fig.1 Time domain waveform for image pixels distortion

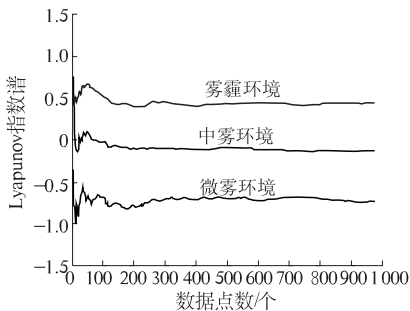


图 2 图像像素失真时的 Lyapunov 指数
Fig.2 Lyapunov index for image pixel distortion

通过图 1 图 2 可以看出,根据图像像素失真的时域波形和图像像素失真时 Lyapunov 指数 > 1,可以很明显的证明图像像素在这种情况下具有混沌性.

1.2 雾霾天雾化背景干扰下的图像采集模型构建

雾霾天雾化背景下,在大气散射的作用下,图像采集会受到雾化背景的干扰,雾化背景干扰图像采集是用 McCarney 大气散射模型来实现的,对雾化图像数据的设定由 M 个近邻相位点组成了一个帧,用矩阵 X 表达图像的色差像素级,在雾化背景干扰下的浓雾图像色差像素级满足单个尺度的差分函数,那么,就构建了一个关于雾化背景场景色差特征的大气耗散模型:

$$U(x) = 1 - t'(x) = \omega U(x) = \omega \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A} \right) \right). \tag{1}$$

式中: A 为天空的亮度; $I^c(y)$ 为大气粒子 y 轴向模型.

根据大气耗散模型,由于大气耗散对图像像素产生噪声干扰,设 x_0 点为视差传播的可靠性驱动因子,设 $G(x, y, \sigma_i)$ 表示单个尺度的瑞利分布函数,设 σ_i 是像素 (x, y) 在目标整体特征上的尺度,设 w_i 是去雾滤波器的窗口大小,那么,在雾化背景干扰下,大气粒子的散射过程模型:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)). \tag{2}$$

式中: $I(x)$ 是指雾化图像的强度; $J(x)$ 为景物光线的强度; A 为背景干扰强度; $t(x)$ 为混沌干扰下的大气透射率.结合 $J(x)t(x)$ 为雾化图像的衰减项,得到雾点散射损失模型:

$$J(x) = \frac{I(x) - A}{\max(t(x), t_0)} + A. \tag{3}$$

根据雾点散射损失模型,来构建雾霾天雾化背景干扰下的图像采集模型:

$$I(x) = A\rho(x)e^{-\beta d(x)} + A(1 - e^{-\beta d(x)}). \tag{4}$$

式中: $A\rho(x)e^{-\beta d(x)}$ 表示直接传播的模型; $A(1 - e^{-\beta d(x)})$ 表示环境光模型, $1 - e^{-\beta d(x)}$ 为均值滤波大气散射率.根据模型可知,雾化图像处理和去雾目标就是从 $I(x)$ 中恢复 $J(x)$ 、 A 和 $t(x)$ 等相关系数.在雾化背景干扰下的浓雾图像采集,主要是根据场景反照率,来实现对图像的去雾处理.

1.3 图像最小颜色分量的处理方法

在雾霾环境下,为了实现对图像的快速去雾处理,进行图像暗原色特征提取的预处理.先对图像的最小颜色分量预处理,具体过程如下:对于一幅在雾化背景干扰下的浓雾背景彩色图像 J ,定义 J^c 代表 J 的某一个颜色分量,定义大气耗散函

数 $U(x) = 1 - e^{-\beta d(x)}$, $t(x) = e^{-\beta d(x)}$, 其中 $0 < t(x) < 1$, 对图像进行 Hough 变换, 采用加权滤波方法将边缘检测和 Hough 直线检测相结合, 形成图像生成序列模型:

$$\text{Dif}(C_1, C_2) = \min_{v_i \in C_1, v_j \in C_2, (v_i, v_j) \in E} w((v_i, v_j)). \quad (5)$$

在图像的生成序列模型中, $n = 1, 2, \dots, T$, 它表示图像分频迭代步数. 把检测得出的图像像素集划分成几个子集, 采用最小颜色分量估计区分不同大小的图像轮廓点, 得到单个像素值 $I(i, j)$ 的模型:

$$I(i, j) = \sum_{k=1}^p I_{(k)}(i, j) \cdot 2^{k-1}. \quad (6)$$

根据计算图像位置 x 处的传播模型, 采用 3×3 的中值滤波器进行图像特征采集, 得到图像特征采集结果模型:

$$G_{m,n} = \begin{pmatrix} g_{(m,n)}(1,1) & g_{(m,n)}(1,2) \\ g_{(m,n)}(2,1) & g_{(m,n)}(2,2) \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$m = 1, 2, \dots, M; n = 1, 2, \dots, N;$$

$$g_{(m,n)}(u, v) = I_{(k)g}[2(m-1) + u, 2(n-1) + v] \quad u \in \{1, 2\}; v \in \{1, 2\}. \quad (8)$$

在图像特征采集结果模型(7)(8)中, u 为图像 $p(i, j)$ 最小颜色分量, (i, j) 为相应像素的坐标值. 以 x 为中心划定一块方形区域, 采集多幅图像的雾化背景先验噪声, 在方形区域内进行图像特征提取, 构建大气耗散函数, 并采用图像去雾方法求得背景暗原色模型:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))). \quad (9)$$

为了提高图像去雾的速度, 这里假定 $J^{\text{dark}}(x)$ 等于 0, 即得到关于图像去雾速度的模型:

$$J^{\text{dark}}(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (J^c(y))) = 0. \quad (10)$$

在以上构建的模型基础上, 选取合适的活动窗口进行图像的噪声复原, 得到复原以后的图像模型:

$$J(x) = [I(x) - AU(x)] / (1 - U(x)) = [I(x) - A\omega U(x)] / (1 - \omega U(x)). \quad (11)$$

根据复原以后的图像模型, 来计算图像内的每一点自相关函数, 通过阵列元分析方法求出尺度图像在 (x, y, σ) 处的极值后, 得到图像的最小颜色分量自相关模型:

$$c(x, y) = \sum_w [I(x_i, y_i) - I(x_i + \Delta x, y_i + \Delta y)]^2. \quad (12)$$

根据图像的最小颜色分量自相关模型, 进而估计的大气耗散函数 $U(x)$ 和天空亮度 A , 由此, 得到雾化背景干扰下的雾化图像最小颜色分量估计, 为接下来的基于混沌性的加权滤波的图像快速去雾算法奠定了基础.

2 基于混沌性的加权滤波图像快速去雾算法

通过对雾霾背景干扰下的图像分析, 提出一种基于混沌性的加权滤波的图像快速去雾算法, 实现对传统基于边缘保持滤波单幅图像快速去雾算法的改进.

基于上述图像特征和对最小颜色分量估计的预处理, 采用自适应加权滤波设计, 在雾化背景干扰下以混沌性特征映射滤波的第一层为网络的输入节点层. 设 A 为天空的亮度, $\rho(x)$ 为空间坐标 x 处的场景反照率, $d(x)$ 为空间坐标, 获得特征点相关信息(位置、尺度、主方向及特征向量)后, 确定初始特征点集的主方向, 在雾化背景干扰下, 浓雾图像中存在雾化和未雾化两部分区域, 其差异值模型为 $\tau_d u = u(x - m(x, y) - d(x, y), y)$, 根据颜色通道分量的先验知识, 对原图像进行中值滤波, 在雾化背景干扰下, 假设局部区域都存在至少一个颜色分量, 计算颜色分量干扰模型的极小值, 来实现对源图像值中的滤波.

假设在大气光 A 作用下的无雾清晰图像的透射率 $\Omega(x)$, 随着雾化背景作用增强, 图像分辨强度趋于 0, 输入图像 I 的像素值, 构建出带雾图像的暗原色模型:

$$\min_c (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I^c(y)}{A^c})) = \tilde{t}(x) \min_c (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{J^c(y)}{A^c})) + (1 - \tilde{t}(x)). \quad (13)$$

当 $A > 0$ 时:

$$\min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{J^c(y)}{A})) = 0 \quad (14)$$

由于在良好的自然环境采集条件下大气粒子的存在, 空气中总会不可避免地包含一些杂质分子, 这些成分即为混沌性, 采用加权滤波, 计算干扰时频特征, 得到时域和频域的特征分量模型:

$$t(x) = 1 - \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I^c(y)}{A})). \quad (15)$$

$$\tilde{U}(x) = 1 - t(x) = \min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I^c(y)}{A})). \quad (16)$$

根据时域和频域的特征分量模型, 其中,

$\tilde{U}(x)$ 表示色彩矩阵中大气耗散函数的估计值. 在混沌性干扰下, 雾霾环境中的图像深度感会丢失, 即 $\min_{c \in \{r, g, b\}} (\min_{y \in \Omega(x)} (\frac{I^c(y)}{A})) \rightarrow 1$, 则此时 $\tilde{t}(x) \rightarrow 0$.

而在有雾图像的天空区域中, 其最小通道的强度值趋向于天空亮度 A , 为了让图像恢复具有深度感, 使得图像的混沌噪点得到有效抑制, 这里

引入一个常数 ω 来改善对透射率的估计,其中自适应权重 $0 < \omega \leq 1$,并且构建自适应加权滤波模型:

$$\begin{aligned} \tilde{t}'(x) &= 1 - \omega \min_{c \in \{r, g, b\}} \left(\min_{y \in \Omega(x)} \left(\frac{I^c(y)}{A} \right) \right) = \\ &1 - \omega \tilde{U}(x) \end{aligned} \tag{17}$$

式中: $U(x)$ 为改善后的透射率估计值. 利用自适应加权滤波算法,针对性地去除一部分覆盖遥远景物的雾化特征向量,同时保留图像的所有细节,实现了基于加权滤波图像快速去雾算法改进设计.

根据综上设计,完成了基于混沌性的加权滤波图像快速去雾算法的改进设计,具体的改进算法的实现流程如图 3 所示.

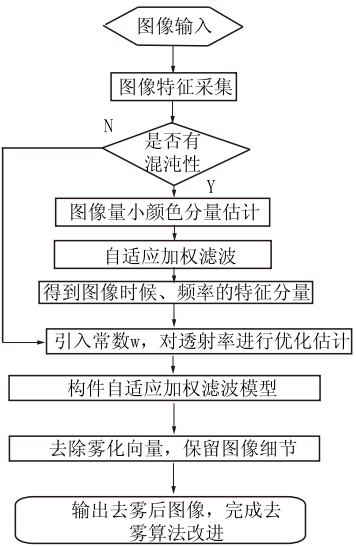


图 3 改进去雾算法实现流程
Fig. 3 Fog algorithm implementation process

3 仿真实验与结果分析

为了验证加权滤波图像快速去雾算法在实现雾化背景干扰下的图像去雾性能,进行仿真实验. 仿真实验是用系统内存为 3 GB 的 PC 计算机,通过采用 Matlab 2012 和 VC++ 软件编程实现的算法仿真. 其中,图像采集系统中使用的是 CCD 摄像头,参数为:感光元件为 CMOS;动态分辨率为 $1\,280 \times 960$.

首先,进行原始图像的采集,得到雾化背景干扰下的雾霾环境图像的大小是 600×400 的 JPEG 图和 400×300 的 BMP 图像. 大气散射环境下图像采集将会受到雾化背景干扰,因此构建背景干扰模型进行原始图像采集,得到两幅待处理的雾霾天气雾化背景干扰下的雾噪图像如图 4 所示,图 4(a)是 600×400 的 JPEG 图像,图 4(b)是 400×300 的 BMP 图像.



(a) 第一幅图像



(b) 第二幅图像

图 4 原始待处理图像
Fig. 4 Original image to be processed

根据图 4 可知,原始的图像受到雾化背景的干扰,雾噪污染较为严重,图像成像效果不好,需要进行图像去雾处理,进行对图像暗原色特征提取预处理. 在此基础上进行暗原色加权滤波处理,实现雾化背景干扰下的图像快速去雾,为了对比算法性能,采用改进算法和传统算法进行对比,得到去雾后的图像成像效果如图 5 和图 6 所示.



(a) 第一幅图像



(b) 第二幅图像

图 5 文献[3]去雾效果
Fig. 5 Literature [3] to the fog effect

分析图 5,采用传统算法进行图像去雾图像中间区域出现了颜色失真现象,树枝和地面去雾不彻底,遥远景物的混细节特征不能得到合理的保留,图像的去雾效果差.但采用改进算法进行图像去雾,能有效克服传统方法的上述缺陷,在除雾的同时保留了图像的真实色彩,图像成像质量效果较好,有效地提高了图像的目标特征点的分辨率.

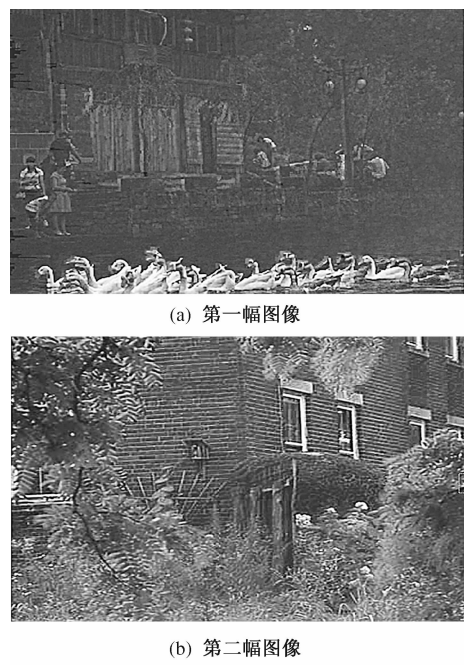


图 6 本文算法去雾效果

Fig.6 This algorithm to the fog effect

为了测试算法的运算性能,以运算时间为对比指标,采用不同算法,得到运算时间对比结果如图 7 所示,从 7 图可见,采用本文引进算法,运算性能较好,实时性较高,降低运算时间,提高了算法的速度.

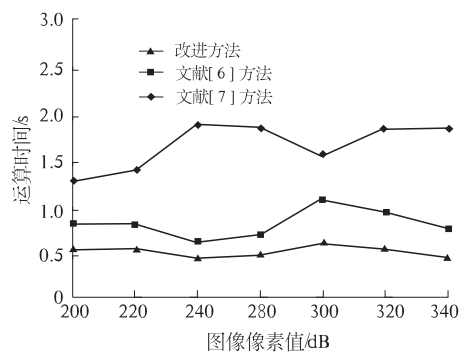


图 7 运算性能对比

Fig.7 Operational performance comparison

4 结论

笔者分别对雾霾环境下的传统图像去雾算法进行改进研究,对浓雾环境下的图像进行去雾算法研究.基于仿真实验的对比分析,可知,笔者提出的基于加权滤波的雾化背景干扰下图像快速去雾算法,实现了雾化背景干扰下的图像快速去雾算法改进,改进算法具有较好的图像去雾性能,图像质量的改善和运算性能方面都具有优越性.

参考文献:

[1] 赵进超,朱颢东,申圳,等. 基于 Hadoop 的图像纹理特征提取[J]. 郑州大学学报(工学版), 2015, 36(4):109-113.

[2] 南栋,毕笃彦,马时平,等. 基于景深约束的单幅雾天图像去雾算法[J]. 电子学报, 2015, 43(3): 500-504.

[3] 刘建磊,刘晓亮. 基于拐点线的大雾能见度检测算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(2): 528-530.

[4] 宋大伟. 一种改进的远距离视频图像性别辨识方法[J]. 科技通报,2013,29(8):100-136.

[5] 毛晓艳,张博,叶中付. 基于加权滤波的低信噪比 LAMOST 光纤光谱信号降噪[J]. 天文研究与技术, 2015(4):447-454.

[6] 刘伟,崔永锋,吴相林. 雾化图像的约束进化时频加权滤波去雾算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(9):311-314.

[7] 陈露,和红杰,陈帆. 基于边界邻域最大值滤波的快速图像去雾算法[J]. 光子学报, 2014, 43(11): 235-269.

[8] 刘红平,陈明义. 基于二次滤波的单幅图像快速去雾算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(8):156-159.

[9] 郭艳颖,杨国庆. 基于暗原色和加权形态学滤波的图像去雾算法[J]. 现代电子技术, 2012, 35(20): 71-73.

[10] 田丰,刘娜. 基于二次加权滤波的热设备故障区域定位研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(14): 242-244.

Image Remove the Fogfog Algorithm Based on Improvement Chaotic under Haze Pollution

SUI Dan^{1,2}, ZHANG Yali³, Yang Jie²

(1. School of Software Engineering, Anyang Normal University, Anyang 455000, China; 2. School of Information Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430070, China; 3. Computer Science Department Anyang University, Anyang 455000, China)

Abstract: This paper suggests a quick image defogging algorithm based on the chaotic weighted filtering to improve the traditional algorithm, the single image defogging algorithm with edge protection, with which there are the disturbance of foggy background, intense foggy hot pixel and the bad restore of image structure. The chaos of the image data will be acquired and the minimum color components will be estimated with the analysis of those disturbed images by the foggy background in haze. Then on this basis, with the combination of the dark channel model of foggy images and the component model of time domain and frequency domain features, the self-adapted weight filtering model is constructed, and the improved design of the quick image defogging algorithm based on chaotic weight filtering is completed. The results of experiment indicate that the adoption of this algorithm can avoid color distortion in the middle area of foggy images, lower the disturbance of foggy background, reduce the foggy hot pixel, and retain the chaotic characteristics of the distant view, and therefore, the advantages in image quality and calculation are displayed.

Key words: haze; chaos; defogging algorithm; improvement

(上接第 85 页)

- [12] 董昕. 结构损伤阻抗识别方法试验与应用研究[D]. 北京:北京化工大学机电工程学院, 2012: 49-53.
- [13] LIANG C, SUN F P, ROGERS C A. Coupled electro-mechanical analysis of adaptive material system-Determination of the actuator power consumption and system

energy transfer[J]. Journal of intelligent material systems and structures, 1994, 5(1): 12-20.

- [14] TSENG K. Non-parametric damage detection and characterization using smart piezoceramic material [J]. smart materials and structures, 2002, 11(3): 317-329.

Experimental Research of Damage Localization in Aluminum Beam Based on EMI Technique

LI Cheng, CHEN Gongxuan, TIE Ying, NIU Dongdong

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Aiming at identifying damage location, this paper experimentally investigated the damage location in aluminum beam based on the electro-mechanical impedance (EMI) technique. [The real signals of impedance of nondestructive and handmade damage hole under different frequencies were measured with precision impedance analyzer, then were processed with Pearson correlation coefficient, many times of experiment found the feasible frequency bands and the approximate linear relationship between the correlation coefficient and the distance from PZT to damage was verified in these feasible frequency bands finally.] Aluminum beam damage location experiments were carried out accordingly and the detection value of damage hole and crack position coincided well with the actual value. The method applied in aluminum beam damage location was verified to be effective and it can provide reference for nondestructive testing of damage location.

Key words: electro-mechanical impedance (EMI) technique; nondestructive testing; damage localization; correlation coefficient; impedance