

基于 PDE 和小波分析的破损路面检测技术

刘章棋, 张亚岐, 席晓哲, 李静华
(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 提出了一种基于 PDE 和小波分析的破损路面检测技术。通过 CCD 采集路面信息, 并运用 PDE 进行去噪处理, 从而很好地保留原始图像的边缘和纹理; 利用小波分析进行边缘检测, 再采用 Canny 算法对图像边缘进行提取, 以确定破损路面的位置。实验结果表明, 检测结果与实际结果相吻合。

关键词: 破损; 检测; 偏微分方程; 小波分析

中图分类号: TP206

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)08-0035-03

Testing technology of the damaged road based on PDE and wavelet analysis

Liu Zhangqi, Zhang Yaqi, Xi Xiaozhe, Li Jinghua
(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: This paper puts forward a kind of testing technology of the damaged road based on PDE and wavelet analysis. Firstly, the road information is acquired through the CCD, the noise of collected pictures are removed by PDE method, and the edges and texture of the original images are kept very well. Secondly, the image edge is detected by the analysis of wavelet, and extraction of image edge is performed with Canny algorithm so as to determine the position of the damaged road. The experiment results show that the actual results and test results are identical with each other.

Key words: breakage; detection; PDE; wavelet analysis

在当代社会中, 许多车主为了最大限度地获取利润, 超载、超限的情况时有发生, 特别是长途载货车辆和长途客运车辆超载、超限尤为严重, 这加剧了路面的损坏速度和损坏程度。由于路桥塌方等事故形成的破损路面行车安全及车辆行驶平顺性影响较大, 不仅使车辆产生损坏, 也造成了资源的浪费, 因此对现有路面破损程度进行检测很有必要, 而寻求成本低、可靠性高的路面破损检测方法也逐渐成为道路管理部门研究的重点。目前, 图像去噪方法甚多, 较为成熟的有均值滤波、中值滤波、高斯滤波^[1]以及双向滤波等。这些方法比较简单, 对去除与信号不相关的噪声效果也较为理想, 但是, 这些方法容易造成边缘和纹理的模糊。为此, 本文提出了一种基于偏微分方程 PDE (Partial Differential Equation)^[2-4]和小波分析的破损路面检测技术。考虑到小波多尺度分析^[5]去噪方法比较适用于特征信号和噪声的频带相互分离时的确定性噪声情况, 而处理特征信号和噪声频带相互重叠时的结果并不理想^[6], 因此, 可对采集的图

《微型机与应用》2012年 第31卷 第8期

像进行 PDE 去噪, 再进行小波边缘检测^[7-8]以及 Canny 边缘提取, 最终确定路面破损的位置。该方法精度高、稳定性好, 检测结果与实际结果吻合度高。

1 PDE 去噪和小波分析

1.1 PDE 去噪

PERONA 和 MALIK 等人提出保持边缘纹理各向异性扩散去噪的优点, 摒弃线性扩散滤波的缺点, 提出 P-M^[9]各向异性扩散模型。线性热扩散方程去噪本质就是对图像进行高斯卷积, 但是这会模糊图像, 为此, 在扩散过程中应该保持边缘。PERONA 和 MALIK 提出利用控制函数抑制边缘处的扩散建立的 P-M 模型为:

$$\frac{\partial u_t}{\partial t} = \text{div}(g(|\nabla u_t|) \nabla u_t) \quad (1)$$

其中, u_t 为 t 时刻图像; ∇u_t 为图像的梯度; $g(|\nabla u_t|)$ 称为扩散系数, 该数值大小称为扩散强度, 其非线性形式^[10]为:

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 37

$$g(|\nabla u_i|) = \frac{1}{1 + \left(\frac{|\nabla u_i|}{k}\right)^2} \quad (2)$$

其中, k 为梯度阈值, k 值大迭代次数就会增加, 以此来模糊图像边缘细节部分。针对当前计算机快速高效的运算速度, 此处 $k=0.02764$ 。利用差分进行求解。去噪过程相当于求解式(1), 其可以进一步转化为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\nabla^2 \frac{1}{1 + \frac{|\nabla^2 u|^2}{k^2}} \nabla^2 u \quad (3)$$

设图像大小为 $[M, N]$, 在 MATLAB 中运用如下代码将图像转化成灰度图像:

```
I=imread('8.jpg');           %读取图像
I1=im2double(I);             %进行双精度转化
I2=rgb2gray(I1);             %灰度转化
```

灰度值的二阶差分迭代步骤为:

$$\nabla^2 u_{i,j}^n = u_{i+1,j}^n + u_{i-1,j}^n + u_{i,j+1}^n + u_{i,j-1}^n - 4u_{i,j}^n \quad (4)$$

$$\nabla^2 g_{i,j}^n = g_{i+1,j}^n + g_{i-1,j}^n + g_{i,j+1}^n + g_{i,j-1}^n - g_{i,j}^n \quad (5)$$

$$u_{i,j}^{n+1} = u_{i,j}^n - \Delta t \nabla^2 g_{i,j}^n \quad (6)$$

在像素遍历过程中, 为了保证边界部分的完整性, 对图像进行扩充, 即在图像最左端、最右端、最上端和最下端各插入与相邻列或行相等的像素值。因此, 边界条件为:

$$\begin{cases} u_{0,j}^n = u_{1,j}^n, u_{M+1,j}^n = u_{M,j}^n \\ u_{i,0}^n = u_{i,1}^n, u_{i,N+1}^n = u_{i,N}^n \\ g_{0,j}^n = g_{1,j}^n, g_{M+1,j}^n = g_{M,j}^n \\ g_{i,0}^n = g_{i,1}^n, g_{i,N+1}^n = g_{i,N}^n \end{cases} \quad (7)$$

1.2 小波分析

小波被誉为“数学显微镜”, 在时频两域都有很好的局部特性。将信号 $f(t)$ 进行小波级数分解:

$$f(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \langle f, \psi_{j,k} \rangle \psi_{j,k}(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (8)$$

$$\psi_{j,k} = \psi(2^j t - k) \quad (9)$$

其中, $\psi_{j,k}(t)$ 为小波函数, $d_{j,k}$ 为小波系数, 且 $d_{j,k} = \langle f, \psi_{j,k} \rangle$, $\psi_{j,k}^*(t)$ 为小波函数的共轭函数。小波是级数的两重求和, 同时兼有频率指标 j 和时间指标 k , 小波函数为:

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) \quad (10)$$

其中, j 为伸缩参数, k 为平移参数。小波变换的窗口是可变的时频窗, 尺度因子 j 不仅会改变小波的频谱结构, 而且会改变时频窗口的大小。若 j 大, 则对应低频端, 频率分辨率高, 时间分辨率低; 若 j 小, 则对应高频端, 频率分辨率低, 时间分辨率高。

1.3 像素距离向实际距离的转化

图 1 是摄像机倾角成像原理图。其中, F 为镜头的光心位置, 虚线为主光轴, M, N 分别为镜头视角的上下

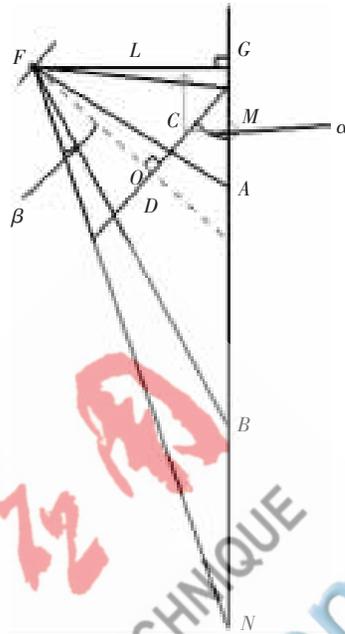


图 1 摄像机倾角成像原理图

端点, A, B 为成像物体的上下端点, C, D 分别为 A, B 两点在图像中的成像位置, L 为焦点到垂直平面距离。

当 A 点在镜头主光轴的上部, B 点在下部时, 则:

$$\begin{cases} GA = L \times \left[\frac{n \times \tan \alpha - (n - P_A) \times \tan \beta}{n + (n - P_A) \times \tan \alpha \times \tan \beta} \right] \\ GB = L \times \left[\frac{n \times \tan \alpha - (P_B - n) \times \tan \beta}{n + (P_B - n) \times \tan \alpha \times \tan \beta} \right] \\ AB = GB - GA \end{cases} \quad (11)$$

其中, $2n$ 为视角内总的像素, P_A, P_B 分别为 A, B 两点像素值。 AB 就为物体的实际长度。

其他两种情况与上述情况相似, 只是 A, B 点在主光轴的位置不同而已, 限于篇幅不再赘述。

2 仿真实验

实验采用摄像头拍摄的照片, 并利用 MATLAB 语言^[11] 进行图片处理。仿真过程中各个参数的初始值为: $k=0.1, n=100, g_{3,2}^1=0, g_{2,3}^1=0.007259, g_{1,2}^1=0, g_{2,1}^1=0.007688, \Delta t=0.0001$ 。实验结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出, PDE 去噪后能够很好地保持图像的边缘特征, 经过二值化后, 路面裂缝变得特别明显, 再通过小波边缘检测和 Canny 边缘提取后, 基本确定了裂缝的形状。此外, 以确定目标域(裂缝)为基础, 进而确定路面破损的位置。路面裂缝的位置如图 2(e) 所示。通过与实际图片对比, 不难看出, 图像处理的结果基本与实际路面破损位置相一致。图 2(f) 是通过确定连通域找出目标域, 对目标域进行填充后得到的。利用 MATLAB 中的 `bwboundaries` 函数获取连通域, 通过对图像进行列遍历, 找出上边界点, 从上边界点开始沿列进行搜索。若首次出现 $u_{i,j} \neq u_{i+1,j}$, 则记录下该点的像素值以及行列号, 最终确定目标域边界点处的像素值和行列号。

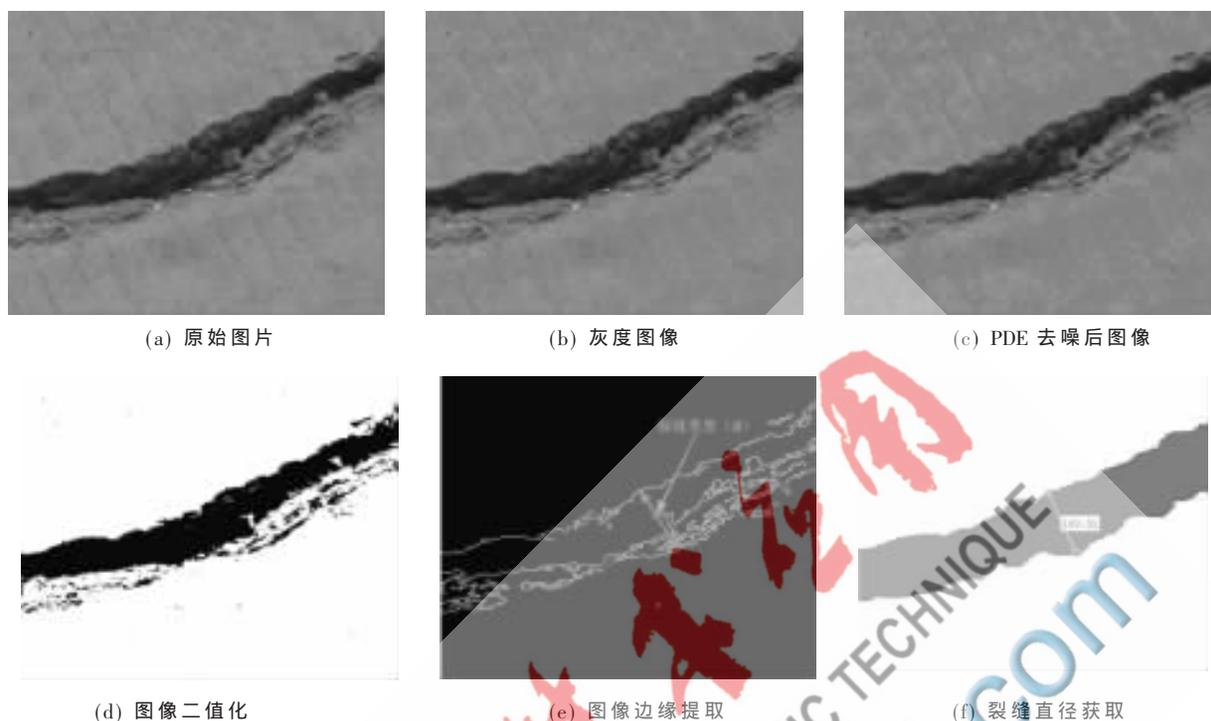


图2 实验结果

裂缝宽度主要是通过沿边界像素点处的梯度方向进行搜索,对上边界点任意一点在梯度方向上搜索与该边界点标号相同的最远点,从而计算出两像素点之间的距离,最终确定最大的距离 d , d 即为识别出来的裂缝的最大宽度。本实验中, $d=100.31$ 。最后,根据照相机的高度、照相机镜头的视角、拍摄角度和像素点距估算出实际裂缝的宽度。

本文通过对采集的破损路面图片进行PDE去噪、小波边缘检测以及边缘提取,得到了较为真实的路面情况,再通过梯度搜索最终确定路面最大的裂缝。该方法利用图片处理技术最终实现了对破损路面的检测,具有一定的现实意义。该算法可以融入到道路监控系统,设想将交通指挥部门安放在各个交通要道的摄像头设置为角度可调,通过调整摄像头角度对路面进行最大限度的拍摄,再对拍摄的图像进行处理,获取被监控路段路面的破损程度,进而达到对主要干道路面破损程度的检测。该拍摄过程只需间歇进行,隔半个月或10天检测一次,根据检测结果,就能使破损路面得到及时的修补。但是本算法所采集的图片目标单一,只有裂缝,并没有其他干扰环境,因此,对于复杂的环境还应采用更为精确的图像处理算法。

参考文献

- [1] 吕玉琴,曾光宇.基于图像边缘检测算法的研究[J].研究与探讨,2009(2):31-33.
- [2] 熊宝平,杜明.基于PDE图像去噪方法[J].计算机应用,2007,27(8):2025-2026.
- [3] 崔峰峰.基于PDE的图像去噪[D].济南:山东大学,2008.

- [4] 宋锦萍,陈花竹,台雪成.一种PDE图像分解去噪模型及算法[J].中国图象图形学报,2009,14(8):1547-1552.
- [5] 孔军,杨心溢,蒋敏.基于多尺度特征提取的运动目标定位研究[J].红外与毫米波学报,2011,30(1):21-26.
- [6] 韩希珍,陈朝东,赵建.基于PDE的非线性图像去噪与增强[J].液晶与显示,2011(1):111-115.
- [7] 甘亚辉,戴先中,李新德,等.小波边缘检测在焊缝图像处理中的应用[J].华中科技大学学报(自然科学版),2008,36(S1):65-67,86.
- [8] 贾超,王耀坤,邢晶晶.利用小波多尺度积实现裂纹缺陷的边缘检测[J].计算机工程与应用,2011(15):219-221.
- [9] 陈一虎.P-M扩散方程图像去噪方法分析[J].宝鸡文理学院学报(自然科学版),2010,30(4):14-17.
- [10] 罗峰,殷海清.基于高阶偏微分方程的非线性去噪算法[J].现代电子技术,2006(15):130-132.
- [11] 张善文,雷英杰,冯有前.MATLAB在时间序列分析中的应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.

(收稿日期:2011-12-11)

作者简介:

刘章棋,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向:车辆主动安全。

张亚岐,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:车辆主动安全及ACC自动巡航控制。

席晓哲,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:汽车动力分配。