

文章编号:1671-6833(2009)03-0048-04

小波域内基于块的路面破损检测算法

张雷¹, 马建¹, 宋宏勋²

(1. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 长安大学 光电技术研究所, 陕西 西安 710064)

摘 要: 提出了一种小波域内基于块的路面破损检测算法。路面图像经过去噪、增强等预处理后, 通过 hear 小波变换, 在最高层中对近似分量进行自适应阈值分割得到路面破损的初始区域。在其他各层中, 从高层到低层依次只针对路面破损区域进一步分块分割处理, 得到路面破损的准确检测。仿真实验表明, 提出的算法可以很好地克服噪声影响, 对不同的路面破损类型, 都具有很好的路面破损分割效果。

关键词: 路面破损检测; 小波变换; 分块处理; 图像分割

中图分类号: TG 143.7

文献标识码: A

0 引言

公路养护管理是公路运营管理的重要组成部分, 是保证公路优良服务水平的主要手段, 路面破损检测是公路养护的主要内容之一。传统的基于人工视觉检测路面破损的方法, 因其耗人力、耗时、不精确、危险、花费高、影响正常交通, 愈来愈不能适应公路发展的要求。随着计算机技术、大容量存储器及图像处理技术的快速发展, 基于计算机视觉的路面破损检测设备成为各国竞相研究的热点^[1-3], 它通过摄像头记录路面的状况, 从路面的图像中分割出路面破损区域, 再做进一步的识别、破损程度评估等分析处理。

路面破损检测算法可分为基于像素和基于块的方法。基于像素的方法是针对图像的每个像素采用高斯模型、最大类别和边缘检测等方法进行图像的分割, 检测出破损区域^[4-5]。当处理的图像存在亮度不均、新旧路面连接等情况时, 该算法会产生严重错误, 并且检测的结果容易受到噪声的影响。基于块的方法是将图像划分为若干块, 利用神经网络^[6]、回归分析的方法^[7]进行破损分割, 这两种方法的检测结果需要精细的调整参数。

小波变换给图像处理提供了一个强有力的工具。在文献[7]中, 在小波域内检测桥梁路面的裂缝, 比传统的检测更有效。笔者提出了一个在小波

域内基于块的路面破损检测算法。首先通过 hear 小波 3 级变换, 利用小波变换的金字塔结构, 在最高层的近似分量中分块, 将块内的标准差作为图像特征值, 采用自适应阈值分割, 提取出路面破损的初始区域, 将这些区域对应到下一层的小波域的系数中, 对这些特定的区域再次进行分块处理, 直到最底层, 实现逐步求精, 同时减少了处理图像的面积, 处理过程只针对可能的破损区域进行, 提高了路面破损分割的准确性和效率^[8]。

1 小波域内基于块的路面破损检测算法

算法分为三步: 图像预处理、小波变换和小波域内的分块处理。

1.1 图像预处理

图像的预处理包括去噪、平滑和增强 3 个步骤。

步骤 1: 去噪。路面破损图像在采集、传输等过程中存在噪声的干扰, 为了有效地提取路面破损区域, 去除噪声是必不可少的步骤。去噪方法很多, 采用工程中常用的 $s \times s$ 中值滤波可以比较好地去除路面噪声, s 通常为奇数。

步骤 2: 平滑。路面破损在绝大多数情况下呈现较暗, 灰度值较低, 因此采用形态学的方法对图像进行平滑, 减少图像中亮的噪声点对路面破损分割的影响。采用基于灰度级开运算重构技术对

收稿日期: 2009-01-22; 修订日期: 2009-03-28

基金项目: 西部交通科技项目(200431881213)

作者简介: 张雷(1974-), 男, 湖北英山人, 博士研究生, 研究方向为计算机视觉、智能车辆等, E-mail: zhanglei@chd.edu.cn; 马建(1957-), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为商用车辆结构设计、高速车辆操纵稳定性研究、大型车辆制动理论研究、车辆 CAD/CAE 技术、电动汽车技术等。

图像进行平滑,程序表述如下:

```

 $B = [1]_{1 \times 32}; b = [1]_{3 \times 3}; h_1 = I \ominus B; h_2 = (h_1 \oplus b) I I;$ 
 $j = 1;$ 
if  $h_{j+1} \neq h_j$ 
 $h_{j+1} = (h_j \oplus b) I I;$ 
 $j = j + 1;$ 
end if

```

式中: B 和 b 表示结构元素; h_j 表示第 j 次开运算重构结果; I 表示原始路面破损图像; \ominus 表示数学形态学腐蚀运算; \oplus 表示数学形态学膨胀运算。

对道路破损图像进行开运算重构操作的结果如图1所示。

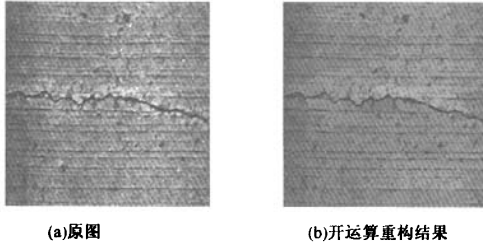


图1 开运算重构平滑结果

Fig. 1 Reconstruction result of open operation

步骤3:增强.通过去除噪声和平滑操作去除噪声的之后,图像边界也变得模糊.因此,采用自适应的反锐化掩模增强算法来增强图像对比度。

1.2 hear 小波变换

hear 小波变换具有金字塔式的分解结构,在金字塔的最底层分辨率最高,细节最完整,但噪声最多,在金字塔的最高层分辨率最低,图像特征突出,噪声最少. hear 小波变换将图像分为4个分量,其中近似分量相当于图像经过低通滤波处理,滤除了高频的噪声.因此,以 hear 小波变换的各层近似分量为分析对象,在最高层确定路面破损的初始区域,从最高层到最低层依次逐步求精进行处理.图2表示经过3层 hear 小波变换在最高层的4个分量。

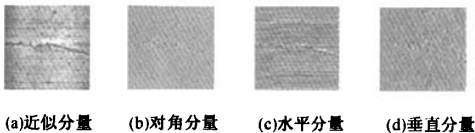


图2 图像经过3层小波变换后在最高层的4个分量

Fig. 2 Four components at the highest level

1.3 小波域内的分块处理

为了突出路面破损的特征,在小波域内分块

处理,以子块内的标准方差为路面破损的特征值,采用自适应阈值进行分割。

步骤1:初始破损区域的确定

对图像 I 进行 k 层 hear 小波变换后,将最高层 k 的近似分量划分为 $n \times n$ 的子块,分别计算每个子块内的标准方差,将标准方差作为子块的特征值,使用自适应的阈值进行分割,得到初始路面破损区域.初始破损区域公式为

$$G = \bigcup_{l=1}^{S_k} \{g_l^k | f_{g_l^k} < T\} \quad (1)$$

式中: G 表示第 k 层近似分量路面破损的初始区域; g_l^k 表示第 k 层近似分量中的第 l 子块; S_k 表示在第 k 层中划分的子块总数; $f_{g_l^k}$ 表示子块 g_l^k 小波变换近似分量的子块标准差; T 为自适应阈值。

步骤2:在 $k-1$ 层对初始的破损区域进行分块处理

对于第 k 层中检测为完好路面的区域,直接通过 hear 小波反变换对应到原图上,而对于在第 k 层中检测为破损的区域,则需要进一步分块处理,以便检出更为精确的破损区域.以其中一个路面破损子块为例说明进一步分块处理的步骤。

首先将第 k 层中检测出的第 l 个大小为 $n \times n$ 的路面破损子块 g_l^k 对应到第 $k-1$ 层中相应的 $2n \times 2n$ 区域 g_l^{k-1} 中。

然后将 g_l^{k-1} 进一步划分为 $m \times m$ 的更小子块,求取 $m \times m$ 子块内的标准方差并作为该子块的特征值,运用自适应阈值的方法在 $2n \times 2n$ 块内分割图像,进一步精确路面破损的位置.在 $k-1$ 层检测出来在子块 g_l^{k-1} 中的路面破损区域定义为:

$$G_{l_c}^{k-1} = \bigcup_{q=1}^{S_{k-1}} \{h_q^{k-1} | f_{h_q^{k-1}} < T\} \quad (2)$$

式中: $g_{l_c}^{k-1}$ 表示第 $k-1$ 层第 l 个子块 g_l^{k-1} 中的路面破损区域; h_q^{k-1} 表示子块 g_l^{k-1} 中第 q 个 $m \times m$ 子块; $f_{h_q^{k-1}}$ 表示子块 h_q^{k-1} 小波变换近似分量的子块标准差; S_{k-1} 表示在子块 g_l^{k-1} 中划分为 $m \times m$ 子块的总数。

最后将 g_l^{k-1} 中检测出的破损路面区域通过 hear 反变换对应到下一层中作进一步分块处理, $g_{l_c}^{k-1}$ 中检测出的完好路面区域不作任何后续处理,直接使用 hear 反变换对应到原图上。

步骤3:在 $k-2$ 层重复在 $k-1$ 层的类似的操作;

对于在第 $k-1$ 层中检测为完好路面的区域,直接通过 hear 反变换对应到原图上,而对于在第

$k-1$ 层中检测为破损的区域,则需要进行分块处理.重复类似操作,直到 hear 小波变换最底层.

步骤 4:最后将最底层路面破损的分割结果对应到原图,得到最终的路面检测结果.

2 仿真实验结果

为了验证本方法的有效性,我们对大量的路面破损图像进行仿真实验,并与高斯模型法、最大类别法和基于块的回归法进行比较,结果如图 3、图 4 所示.实验中参数选取为 $s=5, k=3, n=8, m=4$.

下面分别从定性分析和定量分析的角度,衡量笔者提出的路面破损检测算法.

2.1 定性实验结果

图 3 所示为横向裂缝的检测结果与比较,图像大小为 512×512 ,图 4 所示为块状裂缝的检测结果与比较,图像大小为 2048×1536 .分割结果中黑色表示检测的破损区域,白色表示检测的完好路面区域.从图 3 和图 4 可以看出同高斯模型法、最大类别法和基于块的回归法和本方法比较,本方法受到噪声干扰少,最为有效的分割出路面破损区域.在针对不同的路面和路面图像大小作仿真试验时,对 4 种检测算法里的参数不作任何调整,笔者的方法均能正确的检测出路面破损的区域,其它 3 种方法不同程度的受到参数的影响.

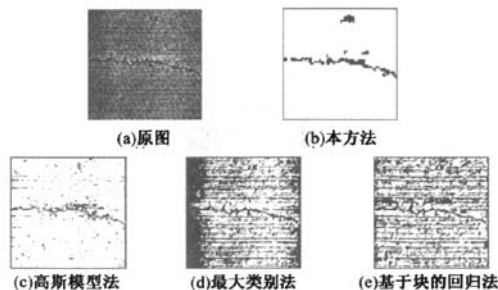


图 3 横向裂缝路面破损分割结果

Fig. 3 Detection results for transverse crack

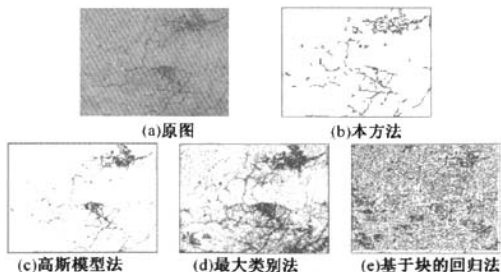


图 4 块状裂缝路面破损分割结果

Fig. 4 Detection results for block crack

2.2 定量实验结果

为了进一步评估本算法的性能,还需要进行定量的比较.将人工分割的结果作为基准图像,选择正确检测率 η_0 和错误检测率 η_1 对检测结果

进行定量评估. η_0 和 η_1 公式表示为:

$$\eta_0 = \frac{G_c}{G_p} \quad (3)$$

$$\eta_1 = \frac{G_r + G_w}{G} \quad (4)$$

式中: G_c 表示算法正确检测出的破损区域的像素数目; G_p 表示实际的破损区域的像素数目; G_r 表示算法将完好路面错误检测为破损路面的像素数目; G_w 表示算法将破损路面错误检测为完好路面的像素数目; G 表示原始路面图像的区域面积.

表 1 定量实验结果与比较 %

Tab. 1 The result and compare of quantitative analysis

仿真实验的方法	η_0	η_1
高斯模型	66.17	4.24
最大类别	99.39	43.63
基于块的回归方法	96.64	34.91
笔者的方法	82.315	3.04

从定量实验结果,我们可以看出笔者的方法可以正确的分割出图像破损,同时错误检测率最低.本方法的路面破损分割是有效的.高斯模型法分割噪声太多,路面破损的正确检测率最低,并且高斯模型对不同的路面需要选取不同的参数,最大类别法可以得到较高的路面破损正确检测率,但是错误检测率太高,基于块的回归法尽管在局部处理上优于高斯模型法,但错误检测率并没有得到多少改善.

3 结论

笔者提出了一种基于小波域的图像分层分块逐步求精的算法,对图像进行 hear 预处理后,进行小波变换,在小波域内,对小波变换后的近似分量系数进行分块处理,将子块内近似分量系数的标准差作为图像特征,使用自适应阈值的进行分割,并分层逐步求精,得到有效的路面破损分割结果,对路面破损的准确定位,仿真试验表明本算法具有很好的抗干扰和鲁棒性,对于不同的路面和图像大小,参数不需要做调整,就可以得到比较好的路面破损分割结果,符合于公路检测实际检测工程的实际要求.

参考文献:

[1] 阮秋琦译,数字图像处理(Matlab 版)[M].北京:电

- 子工业出版社, 2005, 273 - 283.
- [2] LEE H D, KANG K J. Development of automated pavement distress measurement system following new AASHTO provisional protocol[C]. 14th Annual RPUG Meeting, Roanoke, Virginia, October 21 - 25, 2002.
- [3] 黄 卫, 肖旺新, 路小波, 等. 基于图象子块分布特性的路面破损图象特征提取[J]. 土木工程学报, 2005, 16(3): 54 - 60.
- [4] 李晋惠. 用图像处理的方法检测公路路面裂缝类病害[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(3): 24 - 29.
- [5] MIYOJIM M, CHENG H D. Novel system for automatic pavement distress detection[J]. Journal of computing in Civil Engineering ASCE, 1998, 12(3): 145 - 152.
- [6] 初秀民, 王荣本, 储江伟, 等. 沥青路面破损图象分割方法研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(3): 11 - 14.
- [7] SIRIPHAN J. Development of a new digital pavement image processing algorithm for unified crack index computation[D]. A Dissertation Submitted to the Faculty of the University of Utah, 1997.
- [8] IKHLAS A Q, OSAMA A, MICHAEL E. Analysis of edge - detection techniques for crack identification in bridges[J]. Journal of computing in civil engineering ASCE, 2003, 17(4): 225 - 263.

Pavement Distress Detection Algorithm Based on Tiles in Wavelet Domain

ZHANG Lei¹, MA Jian¹, SONG Hong - xun²

(1. School of Automobile, Chang'an University Xi'an 710064, China; 2. Research Institute of Electro - optics, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: We proposed a pavement distress detection algorithm based on tiles in wavelet domain. After the preprocesses of de - noise, enhancing, etc., pavement image was decomposed by Haar wavelet, and the approximation coefficient in the highest layer was segmented by adaptive threshold to get the initial pavement distress regions. Then in the other ordinal layers, from the higher layer to the lower layer, only the pavement distress regions were segmented tiles to gain the exact detection of pavement distress. Simulation show the algorithm proposed in this paper can detect pavement distress effectively for different types and can overcome the effect of the noisiness.

Key words: pavement distress detection; wavelet transform; tile processing; image segmentation