

文章编号: 2095—0411 (2011) 01—0023—04

多分辨率下自适应阈值判定的分水岭 车辆图像分割算法^{*}

刘 强, 薛国新, 薛 培

(常州大学 信息科学与工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 针对分水岭算法产生过分割现象, 提出一种基于自适应阈值判定分水岭算法的图像分割方法, 首先对图像进行多分辨率小波分解, 再在某一尺度下计算梯度图像, 并对该梯度图像进行自适应阈值判别, 最后使用分水岭算法进行图像分割。实验结果表明该方法能取得较好的分割效果, 有效的降低了过分割现象。

关键词: 图像分割; 自适应阈值判定; 分水岭算法

中图分类号: TP 752.1

文献标识码: A

Method of Adaptive Threshold Decision and Watersheds for Multiscale Image Segmentation

LIU Qiang, XUE Guo—xin, XUE Pei

(School of Information Science and Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The problem of watershed transform is over—segmentation. This paper proposed a segmentation technique that combined adaptive threshold decision and watersheds for multiscale image segmentation. The wavelet transform then was applied to the gray image, producing detail and approximation coefficients. Gradient magnitudes of the approximation image at the coarsest resolution were computed, and an adaptive threshold was used to remove small gradient magnitudes. The watershed transform was then applied. The result indicated that this method could generate a good segmentation for gray images and efficiently reduce over—segmentation.

Key words: image segmentation; adaptive threshold decision; watershed

图像分割^[1]是图像分析中所面对的基本问题, 它将图像分割成不同的部分, 每部分代表了不同的对象。在良好分割的基础上, 才有更大的可能性完成对图像中对象的大小、形状、位置等信息有效测量, 才能为以后的图像理解提供正确可靠的信息。

在图像分割的各种方法中, 基于形态学的分水岭变换^[2]是一种经典有效的功能强的分割方法。该

方法可形成封闭连续的区域, 这一特点是基于空间域一阶、二阶微分算子: Roberts^[3]、Sobel^[4]、Prewitt^[5]等所欠缺的。Vincent 和 Soille 提出了基于浸入模型的算法, 提高了该方法的计算速度。然而, 图像灰度值的轻微变化和噪声的影响会造成伪梯度, 从而产生过分割现象, 这是在应用该方法前必须注意的问题, 为了克服这一过分割现象, 本文

^{*} 收稿日期: 2010—07—05

作者简介: 刘强 (1979—), 男, 江苏南京人, 硕士生。

首先使用多分辨率小波对图像进行分解,在分解的分辨率下,应用 Prewitt 边缘检测算子计算该分辨率下的梯度灰度图像,再采用自适应阈值判定方法去除伪梯度值,最后应用分水岭变换,取得比较好的结果。

1 图像的多分辨率分解

通过多分辨率小波分解^[6]可以将图像分解成不同分辨率下的高频 (HH)、低频 (LL)、垂直低频 (HL)、水平高频 (LH) 部分,因为这种分解本身涉及到低通滤波,所以可以抑制噪声,这是它的固有属性。从滤波器的角度来看,这样的分解相当于将输入图像分别与低通、高通滤波器 (其系数由母小波决定) 进行卷积运算,计算公式如下:

$$\begin{aligned} D_2^{\text{ll}} f(x_1, x_2) &= \langle f(x_1, x_2), \phi_{2^j}(x_1) / \phi_{2^j}(x_2) \rangle \\ D_2^{\text{hl}} f(x_1, x_2) &= \langle f(x_1, x_2), \phi_{2^j}(x_1) / \varphi_{2^j}(x_2) \rangle \\ D_2^{\text{lh}} f(x_1, x_2) &= \langle f(x_1, x_2), \varphi_{2^j}(x_1) / \phi_{2^j}(x_2) \rangle \\ D_2^{\text{hh}} f(x_1, x_2) &= \langle f(x_1, x_2), \varphi_{2^j}(x_1) / \varphi_{2^j}(x_2) \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $D_2^{\text{ll}} f(x_1, x_2)$ 为低频, $D_2^{\text{hl}} f(x_1, x_2)$ 为水平高频, $D_2^{\text{lh}} f(x_1, x_2)$ 为垂直低频, $D_2^{\text{hh}} f(x_1, x_2)$ 为高频, $\phi_{2^j}(x)$ 为尺度函数, $\varphi_{2^j}(x)$ 为小波函数, x_1 水平方向, x_2 垂直方向。

选择的小波是 Haar 小波,原因:①该小波是正交小波;②该小波支集长度为 1;③进行小波分解运算所需要的计算复杂度小;④低通、高通滤波器长度为 2,公式如下:

$$h[n] = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right], g[n] = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, -\frac{1}{\sqrt{2}} \right] \quad (2)$$

其中 $h[n]$ 为低通滤波器系数, $g[n]$ 为高通滤波器系数。

2 自适应阈值判别

图像的信息可以认为是原始信息和噪声信息的叠加,这里假设的噪声是可列可加性的,这样可以简化问题的分析,公式描述: $f(x, y) = f_y(x, y) + \eta(x, y)$, 其中 $f_y(x, y)$ 表示原始图像, $\eta(x, y)$ 表示噪声。在这样的假设下图像在 2^j 尺度下,梯度图像在每个位置的梯度值由噪声和边缘因素决定 (在做图像梯度运算时,图像中连续一致性好的区域的梯度值都集中在 0 值附近)。对于梯度值 r 的概率就由在噪声条件下和边缘条件下来决定。梯度值、全概率公式如下:

$$\begin{aligned} r(x_1, x_2) &= \sqrt{D_2^{\text{lh}} f(x_1, x_2)^2 + D_2^{\text{hl}} f(x_1, x_2)^2} \quad (3) \\ p(r) &= p(e) \cdot p(r|e) + p(\eta) \cdot p(r|\eta) \quad (4) \end{aligned}$$

其中 e 表示边缘, η 表示噪声。

根据贝叶斯公式有:

$$p(e|r) = \frac{p(e) \cdot p(r|e)}{p(e) \cdot p(r|e) + p(\eta) \cdot p(r|\eta)} \quad (5)$$

其中 $p(e) = 1 - p(\eta)$ 。

所以自动阈值判定过程:选取某一概率 $p(0 \leq p \leq 1)$, 如果 $p(e|r) < p$, 则将此梯度值置 0; 如果 $p(e|r) \geq p$, 则将此梯度值乘 $p(e|r)$ 。这就意味着只有那些概率大于概率 p 的梯度值才被保留,并且根据对梯度值贡献进行加权,对于那些不能满足这一要求的梯度值直接丢弃,因为这些点是边缘点的概率小于 p , 经过这样的自适应阈值判定后,再将梯度图像进行分水岭变换,可以有效降低分水岭算法产生的过分割现象。

在 2^j 尺度下,如果图像只受到加性高斯噪声的影响,则 r 将服从瑞利过程^[7], 其条件该率密度函数为:

$$p(r|\eta) = \frac{r}{\sigma_\eta^2} e^{-r^2/2\sigma_\eta^2} \quad (6)$$

其中 r 梯度值, σ_η^2 噪声方差。

同时边缘对梯度值的条件概率密度函数也可以假定服从瑞利过程,其条件密度函数为:

$$p(r|e) = \frac{r}{\sigma_e^2} e^{-r^2/2\sigma_e^2} \quad (7)$$

其中 σ_e^2 边缘方差。

以上所涉及到的参数的计算:噪声的方差与是通过图像中连续的尽可能一样的无特色区域计算二阶中心距近似计算获得;边缘方差通过计算梯度图像的方差后减去噪声方差获取; $p(e)$ 和 $p(\eta)$ 通过 σ_e^2/σ_η^2 的比值近似确定。对于判定梯度值是否是边缘点的概率 p , 在实验的基础上选择 0.5 是比较适中的。

3 分水岭算法

分水岭算法^[8,9]是将梯度图像假想为 3 维结构进行处理: $f(x, y)$ 中像素点 (x, y) 被假想为平面中的一个坐标, $f(x, y)$ 对应的灰度值被假想为地形学中的海拔高度,这样想图像就可以假想为 3D 模型。处理过程:选取该模型中局部性最小

值点；在这些最小值处开始注水，让水以匀速的速度上升，从低到高淹没整个地形区域，但处在不同的汇水盆中的水因水位上涨要聚合在一起的时候，修筑大坝来阻止不同汇水盆的水聚合，这样进行下去直到到达最高度 $\max(f(x, y))$ ，最后得到的水坝分界线就是分水岭的分割线。

分水岭算法过程：从极小区开始，一级一级地处理，使用一个先进先出（FIFO）队列，按照宽度优先的方式，递归地分配给每一极小区及其相关的集水盆以不同的标记。例如：递归到灰度级 h （也就是一个梯度值），首先将所有灰度值为 h 的像素赋予标记 MASK，且其中那些已标记了领域像素的像素被插入队列；然后从这些像素开始，在 MASK 的范围内计算各集水盆的测地影响区。如果某像素只与一个集水盆的元素连通，则打上该集水盆的标记；如果某个像素同时与两个集水盆相邻，则标记为分水岭像素；最后标记为 MASK 的像素，属于新出现的极小区，被赋予一个新的标记，直到所有的点被淹没，从而使各个区域得到正

确划分。然而该算法会受到噪声和量化误差的影响，在均匀一致的区域内部产生过多的局部/谷地。而梯度图像的每个/谷底，在分水岭变换中将引入一个/积水盆地，因此最终将会导致/过分割现象。

4 实验结果

实验 1：单车辆传统分水岭与此文算法比较。在交通状况比较宽松的情况下，有视频摄像头所采集得到的图像，多数只包含单车辆情形，所以处理单车辆图像具有一定的代表性，处理结果如图 1。

实验 2：双车辆传统分水岭与此文算法比较。在交通流量较大的情况下，视频摄像头所采集得到的图像，包含双车辆车辆情形增加，所以处理双车辆图像具有一定的代表性，处理结果如图 2。

实验 3：多车辆传统分水岭与此文算法比较。在交通流大的情况下，视频摄像头所采集得到的图像，包含多车辆情形更为常见，所以处理多车辆图像具有一定的代表性，处理结果如图 3。

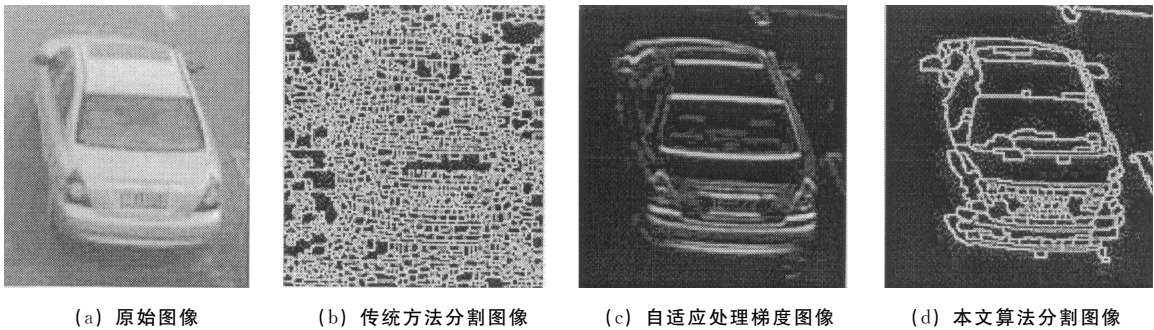


图 1 单车辆传统方法和本文算法处理结果对比

Fig. 1 Result comparison of traditional methods with the proposed method for a vehicle

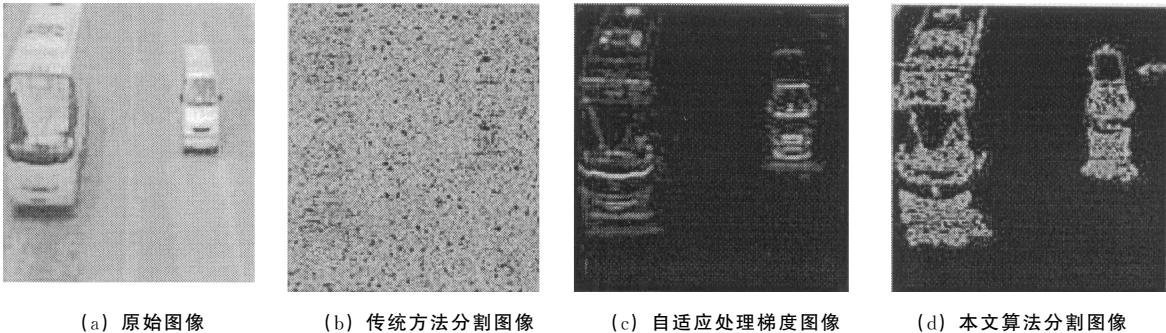


图 2 双车辆传统方法和本文算法处理结果对比

Fig. 2 Result comparison of traditional methods with the proposed method for two vehicles

以上 3 个实验图像结果解释：①代表的是原始的测试图像分别为单车辆、双车辆和多车辆；②代表使用传统的图像分割方法的处理结果，显示出突出的过分割问题；③代表对测试图像进行自适应阈

值判断后，所获得的梯度图像；④代表使用本文方法所获得的图像分割处理结果，明显的降低了过分割现象。此外，就单车辆、双车辆和多车辆 3 种情形将本文方法与传统方法进行比较，结果见表 1。

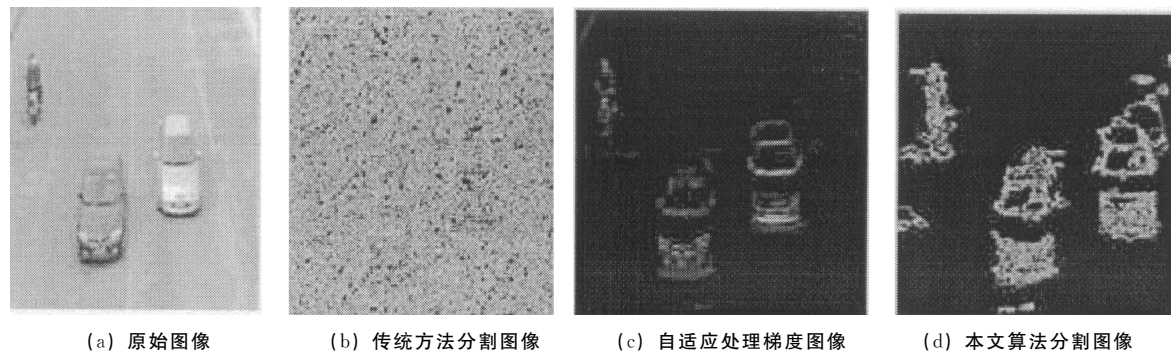


图 3 单车传统方法和本文算法处理结果对比

Fig. 3 Result comparison of traditional methods with the proposed method for multi-vehicles

表 1 采用该算法后与传统分水岭算法所得区域数目比较

Table 1 Comparison of the number of regions of the algorithm in this paper between that of the traditional watershed algorithm

图片	单车	双车	多车
大小/像素	201×216	472×638	472×638
传统分水岭算法获得的区域数目	2 180	5 410	5 890
自适应抑制区域百分比/%	75	78	79
用此文算法获得的区域数目	540	1 120	1 190

上表数据解释：上表第 3 行描述所测试图片的实际分辨率；第 3 行描述使用传统的分水岭算法处理后，所统计的区域数目；第 4 行描述图像通过自适应阈值判定后，进行分水岭算法与传统算法在抑制过分割现象定量说明（抑制百分比）；第 5 行描述本文算法处理的分割图像的区域数目。

5 结束语

在多分辨率下的自适应阈值判定分水岭图像分割算法的实验结果表明：这种算法能够有效的降低分水岭算法造成的过分割现象，对噪声有很好的抑制效果。同时需注意的是：在进行图像分割时，处理是针对图像整体的边缘和噪声因素，对于纹理细节丰富的图像，存在一定的过分割现象，因此下一阶段将考虑图像细微的纹理信息，应用形态学中方法来降低细微纹理图像过分割。也注意到在一些应用中对细微纹理信息并不关心更在乎的是整体的边

缘结构特性，所以另一项工作是在不影响边缘信息的条件下，如何有效屏蔽掉细微纹理特征凸显整体结构，这将是以后的进一步的研究工作。

参考文献：

[1] 姜彬, 施志刚. 图像分割技术分析与发展 [J]. 电脑知识与技术, 2009, 26 (35): 31-35.

[2] Beucher S, Lantuejoul C. Use of Watersheds in Contour Detection [M]. Paris: International workshop for image Processing, 1979: 462-468.

[3] 康牧, 许庆功, 王宝树. 一种 Roberts 自适应边缘检测方法 [J]. 西安交通大学学报, 2008, 26 (5) 27-32.

[4] 袁春兰, 熊宗龙, 周雪花, 等. 基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究 [J]. 激光与红外, 2009, 26 (1): 44-48.

[5] 杨道普, 马秋禾, 石磊. 边缘检测 Prewitt 算子的改进算法 [J]. 测绘科学, 2008, 25 (33): 26-30.

[6] Jong - Bae Kim, Hang - Joon Kim. Multiresolution - based watersheds for efficient image segmentation [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24: 473-488.

[7] Scharcanski J, Jung C R, Clarke R T. A daptive image denoising using scale and space consistency [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11 (9): 1 092-1 101.

[8] 吕建平, 姬宝金. 基于多分辨率分析与形态学分水岭算法的图像分割 [J]. 微计算机信息, 2010, 26 (5): 18-22.

[9] 王国权, 周小红, 蔚立磊. 基于分水岭算法的图像分割方法研究 [J]. 计算机仿真, 2009, 26 (5): 39-43.