

基于多尺度小波变换的二维图像角点检测技术*

王展 皇甫堪 万建伟 王宏强

(国防科技大学电子技术系 长沙 410073)

摘要 提出一种基于多尺度小波变换的二维图像角点检测算法。首先利用二维零交叉边缘检测算子对图像进行边缘提取得到二值边缘图,通过基于边素(边过程)的围线跟踪算法得到图像的边缘围线。对边缘围线的方向曲线进行多尺度小波变换,利用变换结果的局部最大值信息检测和定位出图像角点。仿真结果表明该算法可有效地实现二维图像的角点检测与定位,具有较高的精度。

关键词 角点检测, 小波变换

分类号 TN941.1

Multi-Scale Wavelet Based Two Dimensional Corner Detection

Wang Zhan Huangfu Kan Wan Jianwei Wang Hongqiang

(Department of Electronic Technology, NU DT, Changsha, 410073)

Abstract A multi-scale wavelet-based algorithm for detecting and locating corners in 2D images is proposed. First using Zero-Crossing-Based 2D Edge Detector we can get the two-value edge graph; after edge linking and giving each planar curve its orientation space representation we can get the orientation curves. Based on the multi-scale wavelet transform of the orientation curves we can utilize the information of local maximum positions to detect and locate the corners. Experimental results with some synthetic and real images show that this algorithm has high precision and stability of the corner detection and location.

Key words corner detection, wavelet-Transform

角点是图像理解和模式识别中重要的图像特征。它们在保留了图像中物体重要特征信息的同时有效地减少了信息的数据量。角点检测技术成为图像处理的有力的工具之一。

角点检测技术可以被分为二类: 基于图像灰度信息^[1,2]和基于图像边界信息^[3,4]的角点检测技术。前者定位精度较差,同时还可能漏掉一些实际的角点,因而在一些实际系统中往往采用后者。然而,基于图像边界信息的角点检测也存在一个固有的缺陷,即只有在物体的特征尺度相似的情况下,算法的性能较好,同时这些尺度信息需要先验的知识。另外,曲线上各个角点都有着尺度不同的支撑域,我们无法事先定义出一个最优的分辨率来进行角点检测。传统的单尺度角点检测算法在一些情况下会出现误检或漏检,因此着我们应该利用多尺度下的整体信息而不是单一尺度下的信息进行角点检测。利用图像边界信息的角点检测与定位技术基于以下的角点定义: (1) 角点同时也是边缘点; (2) 角点出现在边缘方向明显改变的地方。

1 图像的预处理过程

在这一部分,我们讨论图像的预处理过程,包括图像边缘的提取,边缘连接和边缘围线的方向曲线的形成。

微分算子是进行图像边缘提取的有效方法。我们可以利用梯度最大值或二阶导数过零点来提取图像的边界。梯度或一阶导数算子通常在边界附近的区域内产生较宽的响应,因而所得结果常常需要加以细化,这就影响了边界检测的精度。利用二阶导数过零点所提取的边界宽度为一个像素,所得结果无需

* 1998年7月6日收稿

第一作者: 王展, 男, 1972年生, 博士生

细化，因而有利于边界的精确定位。在本文中，我们采用了基于二阶导数零交叉边缘检测算子得到边缘二值图像。

边缘连接我们采用了基于边素，或边过程的围线跟踪算法^[5]。它能跟踪任意复杂两值图像的围线，而且可以严格证明算法的正确性。这样，我们可以得到图像所有的边缘围线并且它们互不相交。

下面我们讨论每条边缘围线的方向曲线的形成。对围线上的每一点我们得到其切线角并表征为围线弧长的函数。用 n 个整数点坐标值表示一条闭合曲线 C ：

$$C = \{P_i = (x_i, y_i), i = 1, \dots, n\}$$

其中 P_{i+1} 为 P_i 的后继点， C 的 Freeman 链码由 n 个矢量组成： $C_i = P_i - P_{i-1}$ ， $i = 1, \dots, n$ ，每一个矢量 C_i 都表征着相对 X 坐标轴的一个角度： $\theta = \frac{\pi}{4}f$ ， $f = 0, \dots, 7$ 。

这样，我们得到了闭合曲线 C 的方向曲线。由于上面定义的切线角度分辨率较低，量化误差较大。为了减小量化误差，同时也利于平滑局部的起伏，我们定义如下的方向函数 $\phi(i)$ ：

$$\phi(i) = \arctan \frac{y_{i+q} - y_{i-q}}{x_{i+q} - x_{i-q}}$$

这里的 q 可以取 2 或 3，代表着平滑的尺度，在本文 q 取 2。这样，当一个角度用上式平滑后，它在方向空间上的变化间隔为 $d = 2q + 1$ ，变化轮廓为一个斜坡函数。

这样，我们就得到了输入图像每条边缘围线的方向曲线，表示为角度与弧长的函数 $\phi(s)$ ， s 表示围线的弧长。

2 基于多尺度小波变换的角点检测与定位

这里，我们的角点检测与定位模型是基于一组自相似二进 Gabor 小波变换的滤波器，Gabor 函数的形式如下：

$$g_j(x) = \exp\left[-\left(\frac{x^2}{2^{2j}}\right) + i\pi\frac{x}{2^j}\right]$$

不同尺度参数下的 Gabor 小波将整个频域从高频到低频分为了多个子带，我们定义 j 尺度下小波变换的结果为：

$$W_j(s) = \phi(s_1) g_j^*(s - s_1) ds_1$$

在 (s) 处角点检测定位的输出响应为：

$$Q_{i,j}(s) = (W_i(s) - \gamma W_j(s))$$

其中 $\gamma = 2^{-j}$ 是规一化因子， γ 表示取模。曲线上点 (s) 被认为是角点，当其满足关系式 $Q_{i,j}(s) = \max_{(s)} Q_{i,j}(s)$ ，其中 N_s 表示 (s) 的邻域，在其上进行角点的搜索，本文的邻域选取为 5。

计算角点的特征输出响应可以被认作是分为两步来进行：首先将方向曲线与两个不同尺度下的高通滤波器进行卷积来提取第一级的特征点，即方向曲线上的奇异点。然后对两个尺度下的滤波器输出求差并取模，得出本文的尺度交互模型。图 1 ~ 6 给出了对于阶跃型角点、阶梯型角点和脉冲型角点的模型和相应的多尺度小波变换检测定位的结果。

从以上的模型分析和仿真结果来看，虽然其中隐含的非线性特性使我们进行一般的谱分析非常困

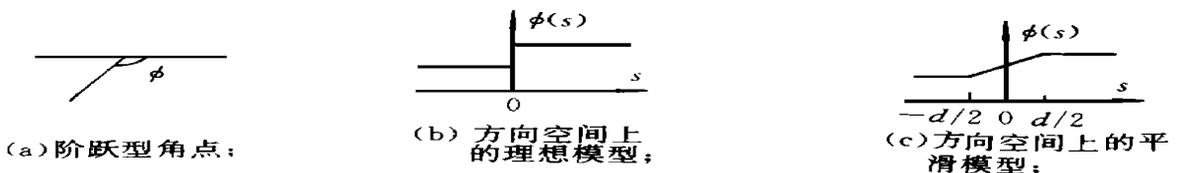
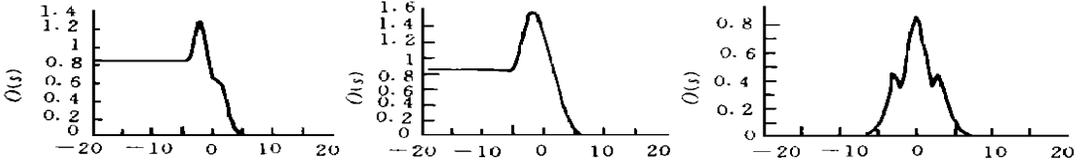


图1 阶跃型角点模型

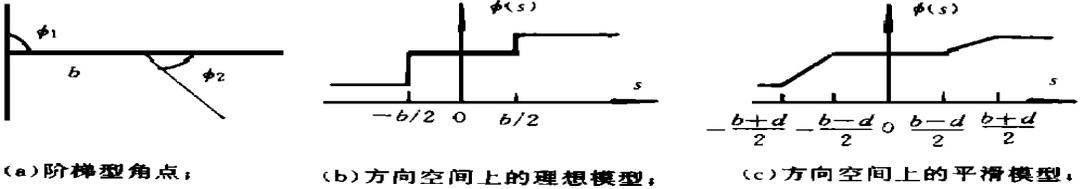
Fig. 1 Single corner model



(a) $j=1$ 时 Gabor 小波变换结果, (b) $j=2$ 时 Gabor 小波变换结果, (c) $j=1, j=2$ 时多尺度小波变换结果.

图2 阶跃型角点检测定位结果

Fig. 2 Single corner detection



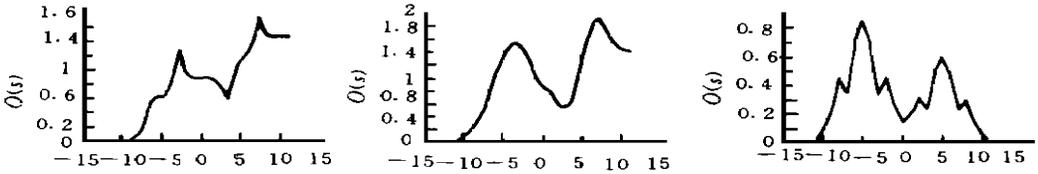
(a) 阶梯型角点;

(b) 方向空间上的理想模型;

(c) 方向空间上的平滑模型;

图3 阶梯型角点模型

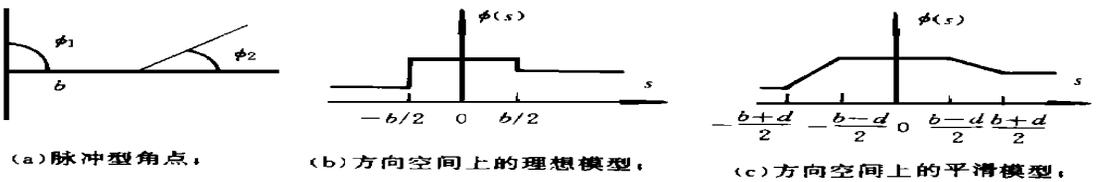
Fig. 3 Stair type corner model



(a) $j=1$ 时 Gabor 小波变换结果; (b) $j=2$ 时 Gabor 小波变换结果; (c) $i=1, j=2$ 时多尺度小波变换结果. 其中 $b=10$

图4 脉冲型角点检测定位结果

Fig. 4 Stair type corner detection



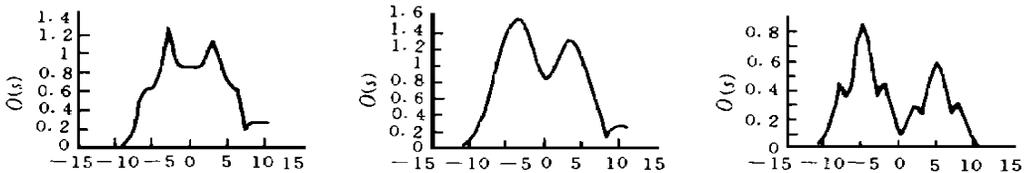
(a) 脉冲型角点;

(b) 方向空间上的理想模型;

(c) 方向空间上的平滑模型;

图5 脉冲型角点模型

Fig. 5 End type corner model



(a) $j=1$ 时 Gabor 小波变换结果; (b) $j=2$ 时 Gabor 小波变换结果; (c) $i=1, j=2$ 时多尺度小波变换结果. $b=10$

图6 脉冲型角点检测定位结果

Fig. 6 End type corner detection

难, 本文的多尺度小波变换方法可以很好地对单一角点和多角点进行检测与定位。

3 实验结果

这里我们给出了对图7测试图像和图8实际图像的角点检测定位的结果。实验结果进一步验证了本文方法的有效性和稳定性。



图7 测试图像的角点检测结果。

Fig. 7 Corner detection for test images



图8 利用角点检测定位人脸图像眼部的特征点

Fig. 8 Corner detection for facial image

4 结束语

本文提出了一种基于多尺度小波变换的角点检测与定位方法。该方法能够有效的检测出图像中的角点并精确定位, 具有实现方便、检测精度高、定位准确、稳定性好的特点。实验结果验证了该方法的有效性。作为提取图像特征点的有力工具, 它可以被广泛用于模式识别、计算机视觉等方面。

参考文献

- 1 Rangarajan K, Shan M, Brackle D V. Optimal corner detector. Proc 2nd Int Conf. Computer Vision. 1988: 90 ~ 94
- 2 Xie X, Sudhakar R, Zhuang H. Corner Detection by a Cost Minimization Approach. Pattern Recognition, 1993, 26 (8): 1235 ~ 1243
- 3 Jiann- Shu Lee, Wavelet Based Corner Detection. Pattern Recognition, 1993, 26 (8): 1235 ~ 1243
- 4 Beus H L, Tiu S S H. An improved corner detection algorithm based on chain - code plane curves. Pattern Recognition, 1987, 20: 291 ~ 296
- 5 吴立德. 计算机视觉. 上海: 复旦大学出版社, 1993