

文章编号: 1001-0920(2005)03-0325-04

基于空间矩的角特征提取

王社阳, 强文义, 陈兴林, 张宏宇
(哈尔滨工业大学 航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 空间矩既可提取边缘特征, 也可提取角特征。首先通过分析角特征模型的空间矩计算公式, 推导出空间矩生成的多项式对角特征像素的判别准则; 然后基于 Kitchen 和 Wang 的角特征提取方法, 提出利用梯度角的变化作为角特征像素的另一个判断准则。实验结果表明, 利用这两个判别准则可准确可靠地判别角特征像素, 并且具有一定的鲁棒性。

关键词: 空间矩; 角特征提取; 梯度方向

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Corner detection based on spatial moment

WANG She-yang, QIANG Wen-yi, CHEN Xing-lin, ZHANG Hong-yu

(School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China Correspondent: WANG She-yang, E-mail: junzilan78@sina.com.cn)

Abstract: Spatial moment may be utilized not only to edge extraction, but also to corner detection. By analyzing mathematical formula of spatial moment at corner model, the spatial moment-generating polynomials are used as one decision rule of corner detection measure. Then, based on Kitchen's corner measure and Wang's corner measure, the gradient-direction change is employed as another decision rule of corner detection. The experiment shows that the corner detection measure, which makes use of the two decision rules, not only may accurately and reliably detect the corner but also is robust to noise.

Key words: spatial moment; corner detection; gradient direction

1 引言

特征提取^[1]对于机器人视觉中的许多任务是必要的, 比如位置估计、目标跟踪、摄像头标定、立体匹配等。对图像进行角特征提取不仅可以准确确定图像位置, 而且能大大减少图像处理的数据量, 从而提高系统的运算速度, 实现实时计算。角特征由图像的两条边缘直线组成, 它相对周围其他点的梯度方向是不连续的^[2]。在目标跟踪、立体匹配和位置估计中, 角点都是良好的候选点^[3,4]。

Kitchen 等^[5]提出利用梯度角变化和梯度幅值的乘积检测角特征; Wang 等^[6]则利用表面曲率提取角特征像素点。这两种方法检测的稳定性和鲁棒性比较差, 这是因为利用了对噪声敏感的二阶导数

为提高角特征提取方法的稳定性和鲁棒性, 本文提出利用空间矩提取角特征的判别准则: 1) 如果像素为角点, 则像素相对周围像素的梯度方向是不连续的, 即特征点的梯度角相对周围像素的梯度角变化较大。角特征为边缘特征的一部分, 因此梯度幅值相对较大。2) 利用空间矩所生成的多项式判别像素是否为角点。

本文提出的方法中, 梯度角变化不是通过二阶导数求得, 而是利用空间矩的01阶矩和10阶矩求出梯度角, 并用 Sobel 梯度模板求得图像的梯度角变化。由于考虑了邻域像素的影响, 可以提高角检测的鲁棒性。对所提出的方法进行实验, 验证了新的角特征提取方法具有一定的鲁棒性和稳定性。

收稿日期: 2004-05-31; 修回日期: 2004-09-06

作者简介: 王社阳(1979—), 男, 山西运城人, 博士生, 从事计算机视觉、模式识别等研究; 强文义(1937—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 从事智能机器人、智能控制等研究。

2 空间矩对角特征的判别

设图像函数 $f(x, y)$ 的空间矩为

$$M_{pq} = \iint_{x^2+y^2=1} x^p y^q f(x, y) dy dx. \quad (1)$$

旋转 Φ 角使函数 $f(x, y)$ 相对 x 轴对称, 得到函数 $f(x, y)$. 函数 $f(x, y)$ 的空间矩为

$$M_{pq} = \iint_{x^2+y^2=1} x^p y^q f(x, y) dy dx. \quad (2)$$

函数 $f(x, y)$ 的空间矩与函数 $f(x, y)$ 的空间矩之间的对应关系为

$$\begin{cases} M_{00} = M_{00}, \\ M_{10} = \cos \Phi M_{10} + \sin \Phi M_{01}, \\ M_{01} = -\sin \Phi M_{10} + \cos \Phi M_{01}, \\ M_{20} = \cos^2 \Phi M_{20} + 2\cos \Phi \sin \Phi M_{11} + \sin^2 \Phi M_{20}, \\ M_{02} = \sin^2 \Phi M_{20} - 2\cos \Phi \sin \Phi M_{11} + \cos^2 \Phi M_{20} \end{cases} \quad (3)$$

函数 $f(x, y)$ 关于 x 轴对称, $M_{01} = 0$, 所以

$$\tan \Phi = M_{01} / M_{10} \quad (4)$$

在离散情况下, 空间矩的计算可改为相关计算, 即模板与图像灰度相乘

设角特征的模型如图 1 所示, 特征角的角度为 2θ . 特征角的等分线与 x 轴的夹角为 Φ 其中一个局部的灰度值为 h , 另一个区域灰度值为 $h+k$.

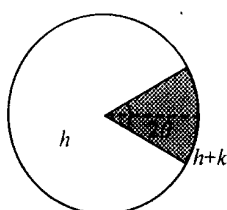
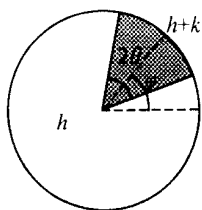


图 1 角特征模型

图 2 旋转后的角特征模型

旋转 Φ 角使图像角特征函数相对 x 轴对称, 其形式如图 2 所示. 旋转后图像角特征函数的空间矩为

$$\begin{aligned} M_{00} &= \iint_{x^2+y^2=1} f(x, y) dx dy = \\ & h \int_0^{2\pi} \rho d\rho d\theta + k \int_{-\theta}^{\theta} \rho d\rho d\theta = h\pi + k\theta, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} M_{10} &= \iint_{x^2+y^2=1} x f(x, y) dx dy = \\ & h \int_0^{2\pi} \rho \cos(\theta) \rho d\rho d\theta + k \int_{-\theta}^{\theta} \rho \cos(\theta) \rho d\rho d\theta = \\ & 0 + 2k \sin(\theta) / 3, \end{aligned} \quad (6)$$

$$M_{01} = \iint_{x^2+y^2=1} y f(x, y) dx dy = 0, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} M_{20} &= \iint_{x^2+y^2=1} x^2 f(x, y) dx dy = \\ & h \int_0^{2\pi} \rho^2 \cos^2(2\theta) \rho d\rho d\theta + \\ & k \int_{-\theta}^{\theta} \rho^2 \cos^2(2\theta) \rho d\rho d\theta = \\ & \frac{\pi}{4} h + \frac{k}{4} \theta + \frac{k}{8} \sin(2\theta), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_{02} &= \iint_{x^2+y^2=1} y^2 f(x, y) dx dy = \\ & h \int_0^{2\pi} \rho^2 \sin^2(2\theta) \rho d\rho d\theta + \\ & k \int_{-\theta}^{\theta} \rho^2 \sin^2(2\theta) \rho d\rho d\theta = \\ & \frac{\pi}{4} h + \frac{k}{4} \theta - \frac{k}{8} \sin(2\theta). \end{aligned} \quad (9)$$

所以

$$\cos \theta = \frac{4(M_{20} - M_{02})}{3M_{10}}, k = \frac{3M_{10}}{2\sin \theta} \quad (10)$$

当像素为角点时, 利用式(5) ~ (9) 可得

$$2(M_{20} + M_{02}) - M_{00} = 0,$$

$$M_{20} - M_{02} = h \sin(\theta) \cos(\theta) / 2$$

当像素为边缘点时, 由文献[1] 得

$$2(M_{20} + M_{02}) - M_{00} = \frac{1}{3} k_l \sqrt{(1 - l^2)^3},$$

$$M_{20} - M_{02} = \frac{2}{3} k_l \sqrt{(1 - l^2)^3}.$$

因此

$$A = \frac{|M_{20} - M_{02}|}{2(M_{20} + M_{02}) - M_{00}} \quad (11)$$

如果 $|A| > k_1$, 则像素可能为角点; 如果 $|A| < k_1$, 则像素不可能为角点 k_1 为一阈值, 其选择范围在 1.5 ~ 5 之间 k_1 与图像对比度有关, 当对比度较强时, k_1 相对较大; 当对比度较弱时, k_1 相对较小. 一般选取 $k_1 = 2$.

3 基于梯度角变化的角点判断

Kitchen 的角检测方法是利用图像梯度方向的变化和梯度幅值的乘积为判断准则, 其计算公式为

$$c(x) = \frac{I_x^2 I_{xx} - 2I_x I_y I_{xy} + I_y^2 I_{yy}}{I_x^2 + I_y^2}.$$

其中: $I(x, y)$ 为图像函数; $I_x, I_y, I_{xx}, I_{xy}, I_{yy}$ 为图像函数的偏导数. 当 $c(x)$ 大于一定的阈值时, 则为角点.

Wang 和 Brady 利用图像曲率大小判断像素是否为角点, 其计算公式为

$$|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}, k = \left(\frac{\partial^2 I}{\partial^2}\right)^2 / |\nabla I|,$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial^2} = \frac{I_x^2 I_{xx} - 2I_x I_y I_{xy} + I_y^2 I_{yy}}{I_x^2 + I_y^2}.$$

其中 t 为梯度的切线向量 如果曲率 k 大于一定的阈值, 则为角点

Kitchen 和 Wang 的角检测方法都利用了梯度角的变化 本文修改角的检测标准为

$$\begin{cases} \Delta(x, y) = \nabla \theta(x, y)^2 = \\ (\theta_x + \theta_y) > k_2, \\ d = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} > k_3 \end{cases} \quad (12)$$

其中: θ 为图像梯度角, $\tan \theta = I_y/I_x$; θ_x 和 θ_y 为图像梯度角的偏导; d 为图像梯度幅值; k_2 和 k_3 为阈值 k_2 用弧度表示时, 其选择范围为 $0.8 \sim 4$, 可选取梯度角变化的最大值的 $1/2$ 作为阈值; k_3 可按 Sobel 或其他边缘提取方法选择, 这是因为角特征是边缘特征的一部分

根据 Lyvers^[1] 的推导, 空间矩的 M_{01} 和 M_{10} 作为图像梯度的水平分量和垂直分量, 其梯度方向为

$$\tan \theta = M_{01}/M_{10}, \quad (13)$$

梯度幅值为

$$d = \sqrt{M_{01}^2 + M_{10}^2} \quad (14)$$

对于 $\Delta(x, y)$ 的计算, 考虑用式(13) 计算出每个像素的梯度角, 再用 Sobel 梯度计算模板计算出梯度角的梯度幅值 $\Delta(x, y)$.

基于空间矩的角特征提取计算过程如下:

1) 首先利用各阶模板计算图像的空间矩, 然后利用式(3), (11), (13) 和(14) 计算出比值 A , 梯度

角 θ 和梯度幅值 d .

2) 如果比值 $|A| > k_1, d > k_3$, 则像素有可能为角点, 利用 Sobel 梯度计算模板计算该像素梯度角的梯度幅值 $\Delta(x, y)$.

3) 如果 $\Delta(x, y) > k_2$, 则该像素为角点

4 实验研究

实验 1 所用图像是一幅 120×120 的仿真图像, 图像中有 90° 角, 也有 45° 和 135° 角 对仿真图像加入盐噪声和白噪声, 利用空间矩角检测方法、Kitchen 算法和 Wang 算法得到的实验结果如图 3 所示 从仿真实验可以看到, 空间矩角检测方法相对 Kitchen 算法和 Wang 算法具有更好的鲁棒性和稳定性 这是因为 Kitchen 算法和 Wang 算法使用了二阶导数, 而二阶导数对噪声非常敏感 当图像加入盐噪声时, Kitchen 算法和 Wang 算法孤立噪声像素的曲率较大, 因此对盐噪声比较敏感; 而空间矩角检测方法能很好地描述图像的几何特征, 且式(11) 是由积分所得, 而积分可以抑制噪声的影响, 因此抗盐噪声能力较强

实验 2 所用图像是一幅 512×512 的实验室图像^[7], 利用空间矩角检测方法、Kitchen 算法和 Wang 算法所提取的特征点如图 4 所示 原图像中明显的角特征像素有 121 个点, 利用空间矩角检测方法可检测到 199 个特征点, 检测成功率为 98%; 而利用 Kitchen 算法和 Wang 算法仅能检测到 96 个和

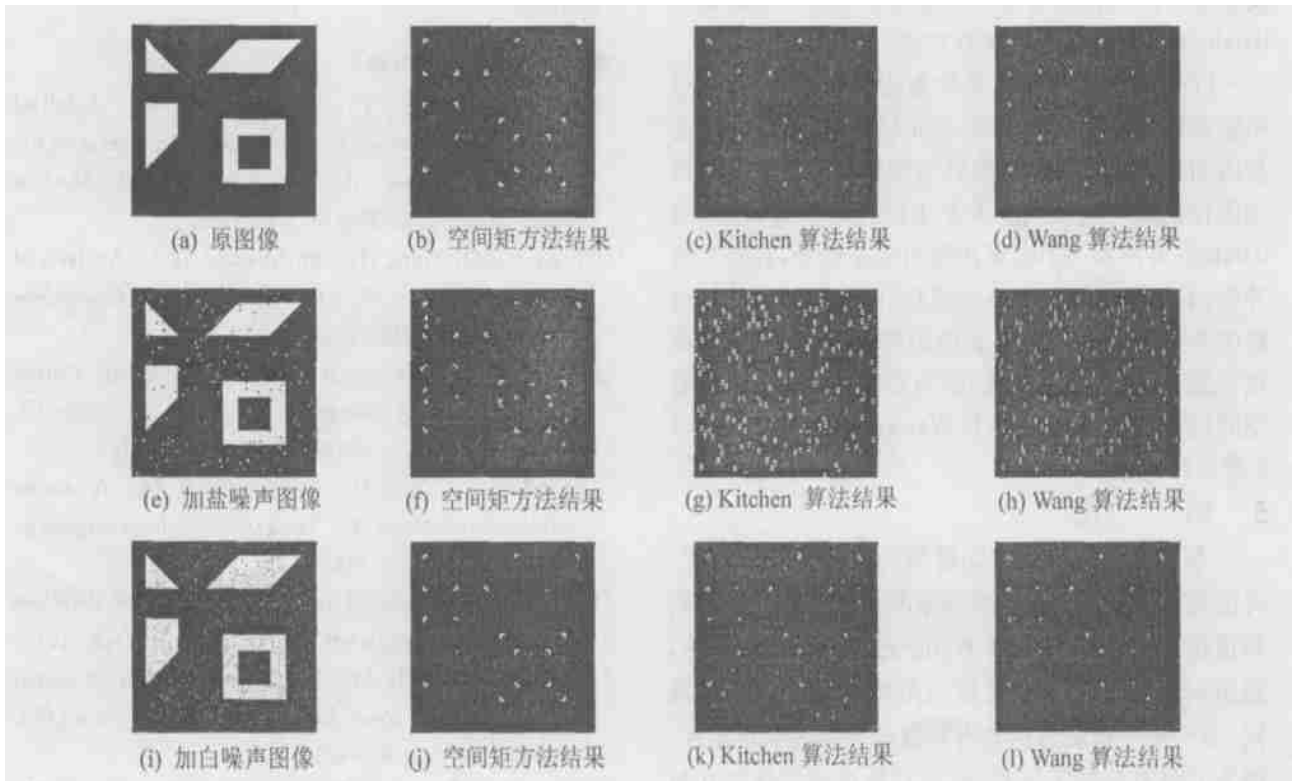


图 3 仿真图像实验结果



图4 实验室图像检测结果

103个特征点,检测成功率分别为79%和85%。这说明空间矩角检测方法在稳定性和准确性方面优于Kitchen和Wang的角检测方法。

以上两个实验含有多种角特征和各种噪声,空间矩角检测方法都能准确、稳定地提取出角特征。这是因为:1)空间矩具有旋转不变性;2)能很好地描述图像的几何特征;3)该方法是利用积分计算,而Kitchen算法和Wang算法利用的是微分,且是二阶导数;4)由于利用 5×5 的模板计算空间矩,计算过程中充分考虑了周围像素的影响。但是空间矩计算比较复杂,速度相对较慢。因为它利用6个模板计算空间矩,而Kitchen算法和Wang算法利用4个 3×3 模板计算偏导数。

5 结 论

本文通过分析角特征模型的空间矩计算公式,得出空间矩多项式对边缘像素和角特征像素的判别和描述;基于Kitchen和Wang的角特征提取方法,提出利用梯度角的变化作为角特征像素的判断准则。空间矩角检测方法具有较强的鲁棒性和稳定性,因为它具有旋转不变性,能很好地描述图像的几何特征,在计算空间矩时利用积分进行计算,而积分能够抑制噪声的影响。本文提出的空间矩提取角特征

像素的方法已成功地运用于HIT-IV双足机器人的视觉系统。

参考文献(References)

- [1] Edward Lyvers P, Mark Akey L. Subpixel measurements using a moment-based edge operator[J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, 11(12): 1293-1309.
- [2] Zheng Z Q, Wang H, Eam Khwang Teoh. A analysis of gray level corner detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1999, 20(2): 149-162.
- [3] Arrebola F, Bandera A, Camacho P, et al. Corner detection by local histograms of contour chain code[J]. *Electronics Letters*, 1997, 33(21): 1769-1771.
- [4] Chabat F, Yang G Z, Hansell D M. A corner orientation detector[J]. *Image and Vision Computing*, 1999, 17(10): 761-769.
- [5] Kitchen L, Rosenfeld A. Gray level corner detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1982, 1(1): 95-102.
- [6] Wang H, Brandy M. A practical solution to corner detection [A]. *Proc Int Conf on Image Proc [C]*. Austin, 1994, 1: 919-923.
- [7] Sun CheolBae, In So Kweon, ChoongDon Yoo. COP: A new corner detector[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2002, 23(11): 1349-1360.