

相对矩及在几何形状识别中的应用

王波涛 孙景鳌 蔡安妮

(北京邮电大学无线电工程系, 北京 100876)

摘要 在计算机视觉中,几何形状的识别具有十分重要的意义,而一般几何形状可以分为区域和结构两类。Hu提出的不变矩是用于区域形状识别的几何特征,但对于结构则因不满足缩放不变的条件而不适用。为此对Hu提出的区域不变矩和Chen提出的区域不变矩快速算法进行了扩展,并定义了对于结构和区域均满足平移、缩放、旋转不变的相对矩,从而统一了区域和结构的矩特征计算公式,而且与Hu的不变矩相比,更具有一般性。利用相对矩进行的识别实验表明,相对矩是对区域、封闭和不封闭结构的形状进行识别的有效特征,尤其在识别封闭和不封闭结构时,比傅立叶描述子等传统方法简便。

关键词 几何形状识别 不变矩 相对矩

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2001)03-0296-05

Relative Moments and Their Applications to Geometric Shape Recognition

WANG Bo-tao, SUN Jing-ao, CAI An-ni

(Beijing University of Posts & Telecommunications, Beijing, P. R. China, P. O. Box 113, 100876)

Abstract Shape recognition is a very important problem in computer vision. Geometric shapes can be divided into two classes: regions and single-pixel structures. Hu's invariant moments are often used as features for characterizing shapes of regions. However when applied to structures, Hu's moments lose scale invariant. Chen proposed a method based on region boundaries to speed up the calculation of Hu's invariants. In this paper we extend Hu's and Chen's methods to define 10 relative moments, which are independent of position, scale and orientation. The formula of invariant relative moments we proposed can be applied to both regions and structures. Experiments show that the invariant relative moments recognition are effective to shape of regions, closed and unclosed structures. This method is also more convenient than Fourier Descriptors.

Keywords Recognition geometric shapes, Invariant moments, Relative moments

0 引言

物体的形状是人的视觉系统分析和识别物体的基础。由于几何形状代表物体的本质特征,并具有平移、缩放和旋转不变等特点,因此在计算机视觉中,几何形状的分析 and 识别具有十分重要的意义。

物体形状识别的方法可以归纳为如下两类^[1],其中,第一类是基于物体边界形状的识别,这种边界的特征主要有周长、角、弯曲能、宽度、高度、直径等,其描述方法主要有链码、B-样条函数、傅立叶描述子(FDs)、自回归模型(AR)和Hough变换等;第二类是基于物体所覆盖区域的形状识别,这种区域的特征

主要有面积、圆度、矩特征等,其描述方法主要有行程编码、二叉树、矩描述子等,但上述两类方法都主要适用于封闭形状的结构或区域的识别,而对不封闭的结构识别则不适用,因此,本文研究了物体的封闭和不封闭结构的识别方法,这里,结构是指表示物体形状的单象素的构架。

在许多计算机视觉应用中,物体可以用单象素的线条和弧线构成的结构来表示,如文字、指纹纹线、生物细胞结构、电路或机械图纸等。在这些情况中,由于物体结构的宽(厚)度对识别没有影响,因此结构常用傅立叶描述子来识别,但傅立叶描述子需要构造封闭边界,这在有些情况下是不方便的。虽然经过推广的Hough变换^[2]可以使用参数矩阵来检测

$f(x, a) = 0$ 的任意形状曲线 (其中 x 为曲线变量, a 为参数矢量), 但由于 Hough 变换的参数矩阵 $P(a)$ 所需要的存储空间大小为 K 的 P 次幂 (P 为参数的个数, K 为 a 的量化级数), 所以这种方法实际上只能用于检测参数很少的曲线。

Hu 首先提出了用于区域形状识别的不变矩^[3], 但对封闭和不封闭结构, 由于不能直接计算矩的特征, 因而还需要先构造区域, 而且由于这种矩的计算涉及区域内部和边界的所有象素, 因而耗费时间较多。另外, Chen 也提出了基于边界的计算区域不变矩的快速算法^[4]。本文对文献 [3] 和文献 [4] 的方法进行了扩展, 提出了相对矩的概念, 由于该概念是将区域矩和结构矩的计算统一起来, 因此不仅可以计算区域特征, 还可以直接计算封闭和不封闭结构的特征, 从而也可以识别区域、封闭和不封闭结构, 由此可见, 它比 Hu 的不变矩更具有普遍性。

1 相对矩

由黎曼积分将一密度函数 $f(x, y)$ 的二维 $(p + q)$ 阶几何矩 m_{pq} 和几何中心矩 μ_{pq} 分别定义为

$$\begin{cases} m_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy \\ \mu_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})(y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \end{cases} \quad (1)$$

其中 $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$, $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$

这种几何矩和几何中心矩可用于描述区域的形状, Hu 提出了 7 个不变矩^[3], 它们满足平移、缩放和旋转不变的条件, 其公式如下

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \varphi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \varphi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \eta_{30} + \eta_{12} [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - \\ &\quad \times (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03}) \times (\eta_{21} + \eta_{03}) \times \\ &\quad [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03}) \eta_{30} + \eta_{12} [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - \\ &\quad \times (\eta_{21} + \eta_{03})^2] - (\eta_{30} - 3\eta_{12}) \times (\eta_{21} + \eta_{03}) \times \\ &\quad [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (2)$$

其中,

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r}, \quad r = (p + q + 2)/2 \quad (3)$$

为了快速计算区域不变矩, Chen 提出了利用区域边界来计算区域矩的快速算法^[4], 其采用的几何矩和几何中心矩分别定义如下

$$\begin{cases} m_{pq} = \int_C x^p y^q f(x, y) ds \\ \mu_{pq} = \int_C (x - \bar{x})(y - \bar{y})^q f(x, y) ds \end{cases} \quad (4)$$

式中, C 代表一平滑曲线, $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$, $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$, $p, q = 0, 1, 2, 3, \dots$ 。文献 [4] 已证明, 当式 (3) 用下式替代时,

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r}, \quad r = p + q + 1, \quad p + q = 2, 3, 4, \dots \quad (5)$$

且式 (2) 的 7 个不变矩仍满足平移、缩放和旋转不变。

对于结构, 由于式 (3) 中与区域有关的面积比例因子 μ_{00} 失效, 因此式 (2) 所表示的矩不再满足缩放不变。虽然文献 [4] 提出的算法能够应用到单象素的区域边界上, 但是由于式 (5) 和式 (3) 不同, 因此这将导致计算区域和结构不变矩公式的不统一。为了得到适用于区域、封闭和不封闭结构的统一不变矩公式, 本文将利用矩之间的比值来去掉比例因子 μ_{00} , 从而使不变矩公式与面积或结构的比例缩放无关, 而仅与几何形状有关。根据这种思路, 利用式 (2) 和式 (3) 得到的相对矩为

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{\sqrt{\varphi_2}}{\varphi_1} = \frac{\sqrt{(\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2}}{\eta_{20} + \eta_{02}} \\ &= \frac{\sqrt{(\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4\mu_{11}^2}}{\mu_{20} + \mu_{02}} \end{aligned} \quad (6)$$

这里, R_1 不包含 μ_{00} , 且满足区域的平移、缩放和旋转不变。同理可导出

$$\begin{aligned} R_2 &= \frac{\varphi_1 + \sqrt{\varphi_2}}{\varphi_1 - \sqrt{\varphi_2}}, R_3 = \frac{\sqrt{\varphi_3}}{\sqrt{\varphi_4}}, R_4 = \frac{\sqrt{\varphi_3}}{\sqrt{|\varphi_5|}}, \\ R_5 &= \frac{\sqrt{\varphi_4}}{\sqrt{|\varphi_5|}}, R_6 = \frac{|\varphi_6|}{\varphi_1 \cdot \varphi_3}, R_7 = \frac{|\varphi_6|}{\varphi_1 \cdot \sqrt{|\varphi_5|}}, \\ R_8 &= \frac{|\varphi_6|}{\varphi_3 \cdot \sqrt{|\varphi_2|}}, R_9 = \frac{|\varphi_6|}{\sqrt{\varphi_2 \cdot |\varphi_5|}}, R_{10} = \frac{|\varphi_5|}{\varphi_3 \cdot \varphi_4} \end{aligned} \quad (7)$$

由于利用式 (2) 和式 (5) 可以证明式 (6) 和式 (7) 也满足结构的平移、缩放和旋转不变, 因此式 (6) 和式 (7) 是对文献 [3] 的区域不变矩概念进行了扩展后

新的形状特征公式,而且它统一了区域和结构的特征计算,本文将其称为相对矩。

这里,对相对矩公式可进一步分析如下:

(1) R_1 与形状的曲率半径有关。一般直线的曲率半径为最大,其 R_1 等于 1;而圆的曲率半径为最小, R_1 等于 0。另外, R_2 代表几何形状的扁度(类似区域的长短轴之比),且直线的扁度为无穷大,圆的扁度为 1。

(2) 相对矩 R_1 的分母不会为零,而 $R_2 \sim R_{10}$ 的分母则可能为 0。当矩的分子和分母都为零时,则该相对矩不存在;若仅分母为零,则该相对矩为无穷大,而无穷大也是对形状的一种描述。

2 实验结果

利用相对矩可以识别物体的形状,下面将通过实验来检验它们的有效性。

实验 1

图 1 为一个含有 13 个电子元器件的区域位图^[5],元器件分为 3 大类:标号 1、2、3、7 是电阻(R);

标号 4、11、12、13、8 是电容(C);标号 9、5 是另一类电容;标号 6、10 是晶体管(S)。文献 5 采用 H_u 的不变矩进行区分,以得到上述不同器件的不变矩散布图(见图 2)。对相对矩进行计算,结果见表 1。从表中可以看出, $R_1 \sim R_{10}$ 的数值对上述 3 种器件均有很好的可区分性。其中,图 3 为不同器件的 R_1 和 R_2 相对矩散布图,图中菱形代表电阻,方块代表电容,三角代表晶体管。

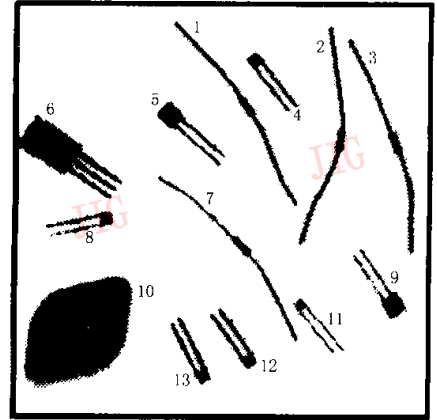


图 1 含有 13 个电子元器件的位图^[4]

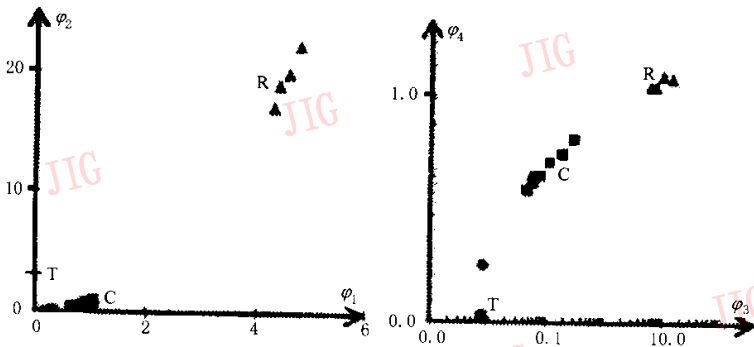


图 2 图 1 中不同器件的不变矩散布图

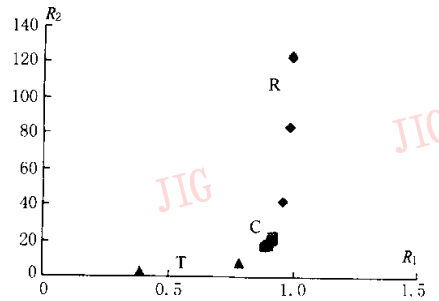


图 3 图 1 中不同器件的相对矩散布图

表 1 不同器件的相对矩

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
1	0.984 138	125.088 075	1.983 340	1.831 863	0.923 625	0.424 376	0.633 968	0.426 226	0.636 732	0.349 319
2	0.953 799	42.289 185	2.860 409	2.410 076	0.842 564	0.458 144	0.821 699	0.464 967	0.833 936	0.242 512
3	0.983 860	122.915 172	2.300 427	2.409 677	1.047 491	0.256 119	0.459 367	0.257 262	0.461 416	0.156 957
7	0.976 525	84.195 933	2.913 149	2.325 559	0.798 297	0.471 046	0.825 040	0.474 329	0.830 791	0.290 145
4	0.912 101	21.753 367	0.872 011	0.902 389	1.034 837	1.062 116	0.990 415	1.094 415	1.020 533	1.146 752
11	0.913 088	22.011 744	1.017 289	1.013 010	0.995 794	0.952 523	0.959 323	0.981 123	0.988 127	0.982 729
12	0.914 039	22.266 257	0.922 177	0.941 051	1.020 466	1.024 176	0.983 752	1.055 337	1.013 683	1.084 368
13	0.910 615	21.375 139	0.922 678	0.941 438	1.020 333	1.021 892	0.980 117	1.053 536	1.010 467	1.083 758
8	0.906 273	20.338 632	0.913 184	0.934 158	1.022 967	1.027 950	0.982 508	1.062 243	1.015 286	1.095 056
9	0.886 217	16.577 284	1.079 097	1.058 755	0.981 149	0.912 660	0.946 341	0.949 426	0.984 463	0.926 700
5	0.895 745	18.183 664	1.044 467	1.033 172	0.989 186	0.936 295	0.957 047	0.971 339	0.992 868	0.957 413
6	0.783 366	8.232 143	1.209 281	1.153 177	0.953 605	0.812 076	0.891 100	0.880 113	0.965 759	0.826 935
10	0.389 040	2.273 534	5.887 531	3.834 833	0.651 348	0.201 640	0.493 222	0.275 923	0.674 921	0.160 280

实验 2

图 4 是图 1 的边界结构图. 若用文献 [5] 的傅立叶描述子来区分图 4 的不同结构, 则其步骤是: 先得到封闭形状的表达式, 再通过离散傅立叶变换来计算傅立叶描述子, 其幅值散布图如图 5. 本文采用相对矩来计算图 4 的结构, 其结果见表 3 (由于篇幅关系, 仅列出 R_1 和 R_8), 而不同器件的 R_1 和 R_8 相对矩散布图见图 6. 从图 6 可看出, 利用相对矩得到的特征空间(图 6)比利用傅立叶描述子得到的特征空间(图 5)更容易划分.

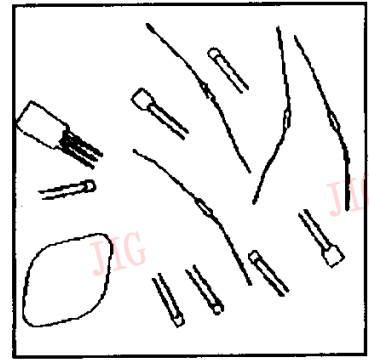


图 4 图 1 的 13 个电子器件的边界结构图

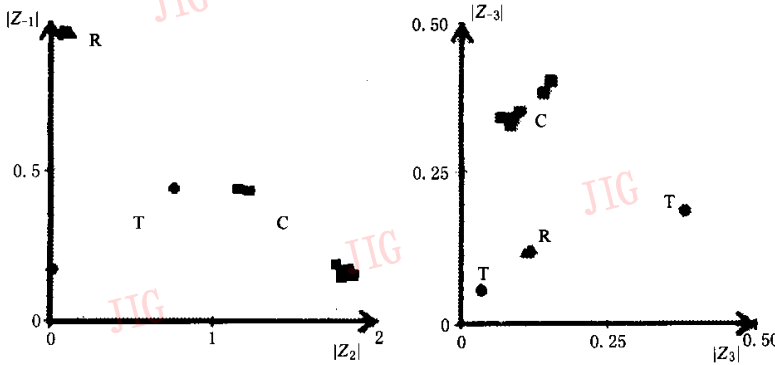


图 5 图 4 的傅立叶描述子的幅值散布图

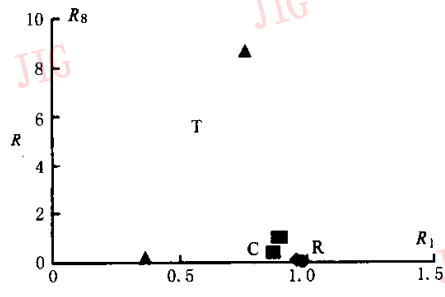


图 6 图 4 的相对矩的散布图

表 2 各种电子器件的边界结构相对矩

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_1	0.98	0.96	0.98	0.98	0.89	0.88	0.88	0.90	0.90	0.87	0.86	0.76	0.36
R_8	0.37	0.48	0.37	0.38	0.96	1.00	0.98	1.08	0.93	0.76	0.74	2.06	0.59

实验 3

图 7 为包含封闭、不封闭结构以及比例不同的相似结构的二值结构图, 由图 7 可见, 从左至右、从上至下, 1、2 为直线; 3、4 为相似矩形; 5、6 为圆形; 7、8 为相似折线; 9、10 为相似三角形; 11 为椭圆; 12 为抛物线; 13 为双曲线. 通过计算图 7 中各个结构的相对矩, 其结果见表 3 (由于篇幅关系, 仅列出 R_1 和

R_3). 从表 3 可看出, 仅利用 R_1 就可将直线(1、2)、矩形(3 和 4)以及圆(5、6)区分出来, 其他结构则通过 R_1 和 R_3 构成的散布图来区分(见图 8). 从图 8 和表 3 可以看出, 不论结构是否封闭, 其相对矩均可以区分. 对于具有缩放关系的相似结构(图形为 1 和 2, 3 和 4, 5 和 6, 7 和 8, 9 和 10), 其相对矩相同.

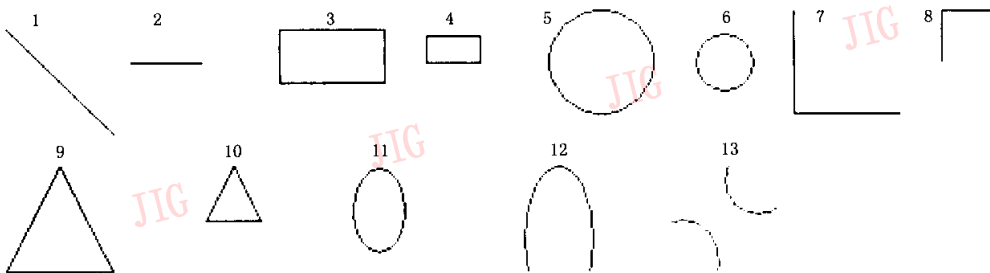


图 7 封闭、不封闭结构的二值结构图

表3 各种封闭、不封闭结构的相对矩

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_1	1.0	1.0	0.50	0.50	0.0	0.0	0.60	0.60	0.52	0.52	0.32	0.12	0.28
R_3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3.0	3.0	14.9	14.7	1.59	2.46	3.52

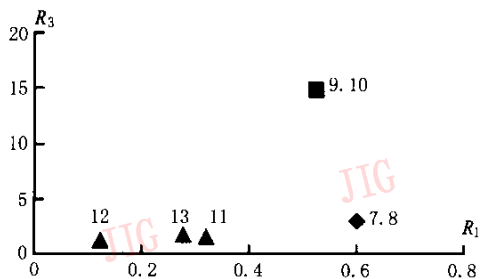


图8 图7中一些结构的相对矩散布图

3 结论

通过对文献3不变矩的推广,提出了相对矩的概念,并利用相对矩作为特征对几何形状进行了识别实验.实验结果表明,相对矩作为对几何形状的一种描述,由于它具有平移、缩放和旋转不变的特点,因而能够适用于区域、封闭结构以及不封闭结构的识别.此外,由于该方法不需要事先得到封闭几何形状的描述,因而比其他方法(如傅立叶描述子、Hough变换等)简便、快速.另外,由于相对矩是利用比值来刻画几何形状的,因此两种相似形状的相对矩相同.对于是否存在两种不同形状区域和结构的相对矩完全相同的情况,还需进一步的工作证明.

参考文献

- 1 Jain A K. Fundamentals of digital image processing. New Jersey:Prentice-Hall Inc,1989 357394.
- 2 崔屹.数字图象处理技术与应用.北京:电子工业出版社,1997:100106.

- 3 Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants. IEEE Trans. on Information Theory,1962,IT-8:179~187.
- 4 Chen C C. Improved moment invariants for shape discrimination. Pattern Recognition,1993,26(5):683686.
- 5 Ferdinand Van der Heijden. Image based measurement systems. Chichester,New York:John Wiley & Sons, Ltd,1994 254272.
- 6 Teh, C.-H, Chin, R.T., On image analysis by the methods of moments. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, July 1998 496513.
- 7 Salama G I, Abbott A L. Computer vision and pattern recognition. In Proceedings. IEEE Computer Society Conference on June, 1998:157163.

王波涛 1996年获北京航空航天大学模式识别与智能控制专业硕士学位,现为北京邮电大学博士研究生.主要研究领域为图象分析与识别.

孙景鳌 教授,博士生导师,1965年毕业于北京邮电大学无线电工程系,1989年获美国加利福尼亚大学圣巴巴分校电机与计算机工程系博士学位.研究领域为成像技术、图象识别与多媒体通信.

蔡安妮 教授,博士生导师,1965年毕业于北京邮电大学无线电工程系,1989年获美国加利福尼亚大学圣巴巴分校电机与计算机工程系博士学位.研究领域为图象识别与多媒体通信.