

提取二维图像特征点阈值的自动确定

管业鹏^{1,2}, 顾伟康²

(1. 上海大学 通信与信息工程学院, 上海 200072; 2. 浙江大学 信息与电子工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 根据灰度图像中噪声与特征点在灰度曲面中呈现出的不同分布特征, 提出了对抽样区域的象素灰度进行偏差迭代运算以确定特征点象素, 采用计算算术平均的办法确定阈值. 采用该方法确定阈值, 避免了提取图像特征点时, 根据被处理图像的一些先验信息, 利用试探方法确定阈值的局限性. 通过对不同自然二维图像的特征点提取, 证明了文中所确定的阈值是合理、有效的.

关键词: 概率论; 标准差; 异常; 灰度; 阈值

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Automatic threshold confirmation for extracting feature points in 2-dimensional images

GUAN Ye-peng^{1,2}, GU Wei-kang²

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Department of Information and Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

Abstract: According to the different distributions on the gray surface between noise and feature points, the location of feature point was located by recursively computing deviation of gray-level within the sampled area. The threshold value was ascertained by the arithmetical average method. The limitation to confirm threshold value with tentative method and a priori information on processing image would be avoided. Experimental results of extracting feature points on different natural 2-D images proved that the threshold value determined was reasonable and effective.

Key words: probability theory; standard deviation; abnormality; gray-level; threshold value

1 引言 (Introduction)

兴趣点选择是立体重建过程中的主要难题之一^[1]. 一种典型的兴趣点选择方法是基于灰度值的局部最大变化量, 但这些点经常出现在拐角处或不满足平滑约束条件的表面不连续处^[1]. 文献[2~5]介绍了特征点识别与提取方法, 这些方法的共同点是对二维图像中的每个像素作水平、垂直及对角 4 个方向的相关运算来确定特征点, 计算量大, 对干扰噪声的抑制及外界光照条件的适应性也较差^[6]. 基于此, 文献[6]提出了一种二维图像特征点快速提取算法. 该算法只需对二维图像中的像素点作水平(或垂直)方向上的灰度差值运算, 并与文献[2, 4]中所提方法, 就特征点识别与提取结果作了对比实验, 证实文献[6]所提算法简单、有效且实用, 对图像中的干扰噪声有较强的抑制作用, 对外界光照条件也具有很强的适应性. 但在文献[6]中, 对阈值的取值没

有作详细的讨论, 只是指出特征点在灰度曲面中表现为朝下突出的“线状长纹”, 其长度代表特征点与前景间的灰度差, 即阈值. 但在机器视觉系统中, 由于视觉系统的自主性能要求, 必须进行自动阈值选择^[1].

基于此, 作者提出了一种在提取二维图像特征点时阈值的自主确定算法. 该算法对抽样区域的像素灰度进行偏差迭代运算以确定特征点像素, 采用计算算术平均的办法确定阈值. 方法简便. 通过对不同自然图像的多次特征点提取实验, 结果证实所确定的阈值是合理、有效的, 可满足机器视觉系统中自主、实时识别与提取二维图像特征点要求.

2 二维图像特征点区域的定位 (Location of the area with feature points in 2-dimensional images)

确定特征点区域, 可采用快速傅立叶变换方法,

通过设计合适的匹配模板,与二维图像进行快速傅立叶变换,提取峰值以确定特征点区域。

采用该方法确定特征点区域,要求能设计出合适的匹配模板,另一方面,存在确定合适的峰值问题。虽然可在二维图像中以某一特征点区域作为匹配模板,但即便如此,若物体因遮挡或因照明条件的限制而使二维图像存在较大灰度差异,采用圈定的特征点区域作为匹配模板,则较难对图像中全部特征点区域进行准确定位,且采用该方法对图像特征点区域定位,也不符合机器视觉系统的自主性能要求。

另一种确定特征点区域的方法是,采用图像分割,将一幅图像分割成一个个有意义的区域,每个区域是简单的方法进行图像特征识别。

Otsu^[7]提出了一种自动的非参数无监督的阈值选择法。通过计算灰度直方图的零阶和一阶累积矩,将最佳阈值确定在类间方差为最大处。文献[8~11]也提出了不同的图像分割阈值化法。这些阈值化法基本上是基于灰度直方图统计特性进行的,而实际图像含有噪声等干扰因素,使灰度直方图分布不一定出现明显的峰和谷,且灰度直方图仅描述了图像强度分布,具有不同灰度空间分布的图像可能具有类似的直方图,因此,在本质上存在着局限性。

根据灰度图像中噪声与特征点在灰度曲面中呈现出的分布特征,可不妨将噪声和特征点均作为异常。根据小概率原理,出现大偏差的概率很小,若出现了大偏差概率,表明抽样像素数据中出现了异常,在这种情况下得到的大偏差像素只能被认为是异常值。

此外,由概率论理论知,若抽样数据中不存在异常值,用 n 个值计算的标准差 $s_n =$

$$\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}$$

与用 $(n-1)$ 个值计算的标准差 $s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_{n-1})^2}$, 都用来估计 σ ,

两者都是 σ 的一致而有效的估计值,其比值 s_n/s_{n-1} 应在 1 附近。反之,若有异常值,由于标准差对异常值反应灵敏,舍弃异常值后,由其余 $(n-1)$ 个值计算的标准差 s_{n-1} 将减小很多,因此,两者的比值将明显大于 1。

虽然噪声也表现为异常,但因为噪声一般表现为高频^[12],其灰度偏高,因此,在一组抽样像素数据中,若舍弃较小灰度像素数据后,如果比值 s_n/s_{n-1} 明显大于 1,则可认为所抽样的数据区域包含着灰度图像特征点区域。

3 提取图像特征点时阈值的确定 (Ascertainment of threshold value for extracting feature points)

3.1 抽样区域灰度标准差统计分析 (Statistical analysis of gray-level standard deviation on the sample area)

在图像 $\{f(i, j), i = 0, 1, \dots, M-1, j = 0, 1, \dots, N-1\}$ 中,取以某一点 $f(i, j)$ 为中心的处理窗口 $W_{m \times n}$ (m, n 分别表示窗口的行和列所包含的像素数),对每一个位于 $W_{m \times n}$ 中的像素 $f(i, j)$,计算在行(或列)方向上的标准差 s 、窗口 $W_{m \times n}$ 所有像素平均标准差 \bar{s} ,其表达式如下:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (f(i, j) - \bar{f}(i))^2} \quad (1)$$

$$\text{或} \quad s_j = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (f(i, j) - \bar{f}(j))^2} \quad (2)$$

式(1)为计算窗口 $W_{m \times n}$ 第 i 行所有像素的标准差;式(2)为计算窗口 $W_{m \times n}$ 第 j 列所有像素的标准差。其中, $\bar{f}(i), \bar{f}(j)$ 分别为窗口 $W_{m \times n}$ 第 i 行和第 j 列所有像素灰度的平均值。

计算窗口 $W_{m \times n}$ 行/列方向上所有像素平均标准差 \bar{s} 的表达式为

$$\bar{s}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i, \quad \bar{s}_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_j. \quad (3)$$

将大于平均标准差 3σ 的标准差,即 $s \geq (1 + 3\sigma)\bar{s}$ 作为异常判断基准。

虽然可通过提高异常控制置信水平的上限,即加大 σ 倍数,减小错误判断概率,但随之会使一些异常检验不出来,犯“判多为少”或“判有若无”错误的可能性增大。

由于实际图像中存在噪声,噪声虽可通过滤波进行抑制,但并不能完全消除,因此采用计算平均标准差 s 及 3σ 作为异常判别基准,势必会将干扰噪声和特征点全部作为异常点。

以一实际二维图像中某一噪声区域 $W_{7 \times 7}$ 为例,该噪声区域像素灰度如表 1。

表 1 包含噪声区域的像素灰度
Table 1 Distribution of gray-level with noise

142	143	141	136	134	136	140
162	174	173	156	140	134	135
154	184	189	148	155	117	129
158	209	208	148	155	151	140
163	208	221	161	150	141	132
134	147	141	136	139	142	145
143	149	140	147	145	142	139

对该区域内的像素在行方向上进行标准差分析,结果见图1.

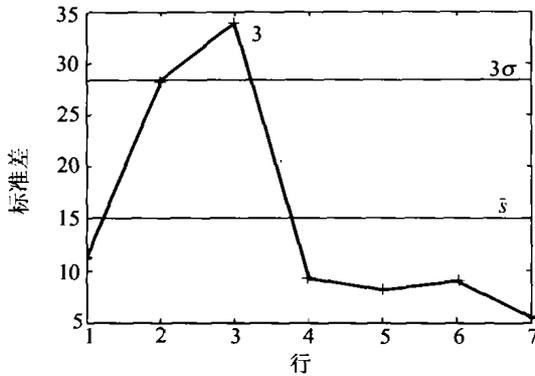


图1 包含噪声区域行方向上标准差分析
Fig. 1 Analysis of standard deviation on the area with noise horizontally

从图1知,该区域数据中的第3行像素标准差超过了异常判断基准,即 $s > (1 + 3\sigma)\bar{s}$.

又以一实际二维图像中某一特征点区域 $W_{7 \times 7}$ 为例,该特征点区域像素灰度如表2所示.

表2 包含特征点区域的像素灰度

Table 2 Distribution of gray-level with feature points

118	117	117	117	117	117	116
118	117	117	117	118	118	117
117	117	116	114	110	111	106
114	118	115	117	112	113	108
123	120	96	93	74	73	77
116	120	96	101	75	72	79
118	119	82	80	36	33	43

同样地,对该区域内的像素在行方向上,进行标准差分析,结果如图2.

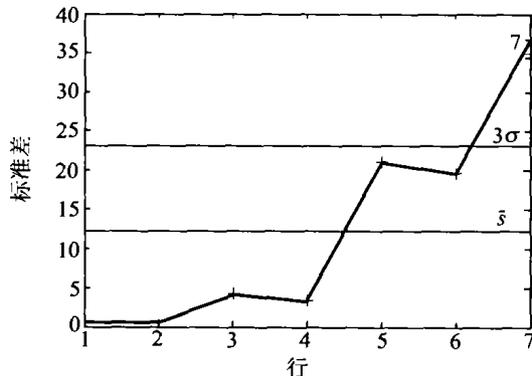


图2 包含特征点区域行方向上标准差分析
Fig. 2 Analysis of standard deviation on the area with feature points horizontally

由图2知,该抽样区域数据中的第7行像素标准差超过了异常判断基准.

可见,单独采用计算标准差 s 及平均标准差 \bar{s} ,

利用 3σ 作为异常判断基准,并不能有效区分干扰噪声和特征点信息.

为能从所提取的异常中剔除干扰噪声而得到有用的特征点信息,需进行 s_n/s_{n-1} 计算.但由于所得到的异常行(或列)中可能包含有多个特征点,即便该异常行(或列)只包含一个特征点,因特征点与其邻近点在灰度上相差不大,因此舍弃异常行(或列)上1个灰度较小的像素点,计算方差 s_{n-1} ,并不能使方差 s_{n-1} 变小,导致比值 s_n/s_{n-1} 不一定变大,使特征点与干扰噪声不能有效区分开来.

以上述噪声区域和特征点区域数据(分别见表1和表2)为例.舍弃噪声区域数据中的第3行最小灰度像素后,标准差比值为 $s_7/s_6 = 1.0346$;舍弃特征点区域数据中的第7行最小灰度像素后,标准差比值为 $s_7/s_6 = 1.0406$.

计算结果表明,采用结合计算 s_n/s_{n-1} 的方法仍不能将干扰噪声与特征点信息有效区分开来.

3.2 抽样区域像素灰度偏差迭代运算及阈值的确定 (Recursive computation of deviation of pixel gray-level within the sample area and ascertainment of threshold value)

为能有效区分干扰噪声与特征点,同时为了解决标准差计算需占用较多时间的矛盾,因此,必须提高算法处理速度,增强算法实时性,从而需要对标准差统计分析方法进行优化.

对抽样区域内的像素按灰度排序,设 $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ 为按灰度大小顺序排列的一组像素序列,若抽样数据中存在异常值,它必然出现在该序列的两端.由于噪声灰度偏高,因此,区分特征点与噪声的方法就是计算该灰度系列中灰度偏小一端的像素,确定该端像素与该灰度系列平均值的偏移情况

$$k = \left| \frac{x_i - \bar{x}}{3\sigma} \right|, i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

式中 $|\cdot|$ 为绝对值.

若 $k > 1$,则确定为特征点,并从上述灰度系列中舍弃该特征点,重新计算舍弃该特征点后的灰度系列的平均值与 σ 值及 k 值,直至灰度系列中无特征点为止.

以包含特征点区域的数据(见表2)为例,采用式(4)计算知,该区域数据第7行3个灰度较小像素其 k 值均大于1,因而可确定其为特征点像素.同样地,通过计算包含噪声区域数据(见表1)知,该抽样数据中无 k 值大于1的像素数据.

可见,采用计算 k 值方法能方便有效地区分特征点与噪声.

在确定特征点像素后,由于特征点具有一定的大小(或宽度),因此,可采用计算算术平均的办法确定阈值.

在窗口 $W_{m \times n}$ 取值大小上,要求窗口取值适中,过大的 (m, n) 取值,虽可包括足够多的灰度变化信息,但也会覆盖其它特征点区域,势必导致遗漏某些特征点,同时,由统计概率知,抽样数据也不宜过大.而过小的 (m, n) 取值,其包含的灰度变化信息少且信噪比低,很难对特征点区域定位,因此要求合理选取 (m, n) 值.通过对不同图像的多次实验, (m, n) 一般取值在 $(7 \sim 15)$ 的整数范围内是合适的.

此外,由于图像灰度曲面复杂程度与图像中灰度分布有关,因此,抽样窗口大小与灰度曲面有关.一般地,对于灰度曲面较复杂的二维图像,窗口大小可适当取小,反之,可取大,以包含较多的灰度变化信息.具体如何确定还需做进一步研究.

4 实验结果(Experimental results)

采用文中所提方法,对一幅具有多背景的自然二维图像(见图3,图像大小: 1430×980 pixels),采用文中所提方法进行阈值确定,其中窗口大小为 9×9 ,采用文献[6]中算法对其进行特征点提取,所得特征点图像如图4所示.



图3 多背景二维灰度图像

Fig. 3 2-D gray image including multi-background

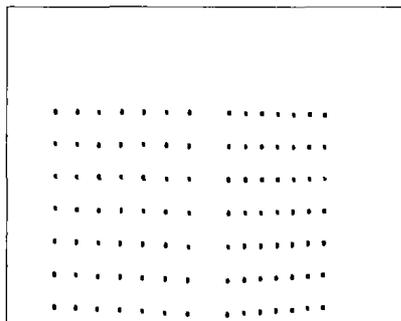


图4 采用自动阈值提取的多背景灰度图像特征点

Fig. 4 Image of feature points extracted on Fig. 3

又以一幅多背景多物体的二维实际图像(见图5,图像大小: 1250×1080 pixels)为例,采用文中所提方法进行阈值计算,其中窗口大小为 11×11 ,利用文献[6]中算法对其进行特征点提取,所得特征点图像如图6所示.

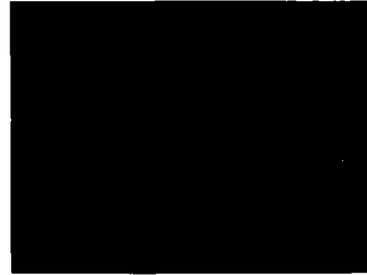


图5 多背景多物体的二维灰度图像

Fig. 5 Image with multi-background and multi-object

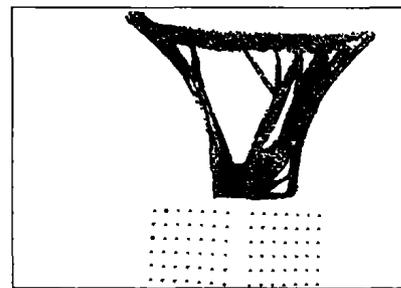


图6 采用自动阈值提取的多背景多物体灰度图像特征点

Fig. 6 Image of feature points extracted on Fig. 5

在运行时间上,使用 P III 500 计算机,在 Matlab 6.5 环境下,采用文中算法,对图3,图5进行特征点提取的计算机运行时间分别为 16.1186s, 15.2740s.

通过对不同自然二维图像进行特征点提取,结果表明,文中所确定的阈值是合理、有效的,可满足自动、实时识别与提取二维图像特征点要求.

5 结论(Conclusions)

利用概率论理论,对二维图像进行灰度统计分析以确定图像特征点区域,方法简单易行.

采用文中算法确定阈值,仅需对抽样像素区域进行灰度标准差计算,避免了提取图像特征点时,根据被处理图像的一些先验信息,利用试探方法确定阈值的局限性.

参考文献(References):

- [1] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000. (JIA Yunde. *Machine Vision* [M]. Beijing: Science Press, 2000.)
- [2] BARNARD S T, THOMPSON W B. Disparity analysis of images [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1980, 2(4): 333 - 340.
- [3] ROBERTS L G. *Machine Perception of Three-dimensional Solids*

- [M]//TIPPETT J T. *Optical and Electro-optical Information Processing*. Cambridge, MA: MIT Press, 1965: 159 - 197.
- [4] SOBEL I. *Camera Models and Machine Perception* [M]. CA: Stanford AI Memo, 1970: 121.
- [5] PREWITT J M S. Object Enhancement and Extraction [M]//LIPKIN B S, ROSENFELD A. *Picture Processing and Psychopictorics*. New York: Academic Press, 1970: 826 - 857.
- [6] 管业鹏,童林夙.二维图像特征点快速提取算法[J].中国图像图形学报,2002,7A(12):1296 - 1301.
(GUAN Yepeng, TONG Linsu. A fast algorithm for extracting feature point in 2-dimensional image [J]. *J of Image and Graphics*, 2002, 7A (12), 1296 - 1301.)
- [7] OTSU N. A threshold selection method from gray-scale histograms [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics*, 1988, 9(1): 62 - 66.
- [8] CHENG Mingqi. Gray image segmentation on MEBML frame [C]//*Proc of the 3rd World Congress on Intelligent Control and Automation*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2000: 135 - 137.
- [9] 姚耀文,朱海洲.点阵地图图像处理过程中阈值的选取[J].华南理工大学学报(自然科学版),1997,25(3):25 - 9.
(YAO Yaowen, ZHU Haizhou. Selection of threshold in image processing of bit map [J]. *J of South China University of Technology (Natural Science)*, 1997, 25(3): 25 - 9.)
- [10] 杨恬,李德芳.灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),1998,23(6): 658 - 662.
(YANG Tian, LI Defang. Study of two-dimensional Otsu thresholding for grey image segmentation [J]. *J of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1998, 23(6): 658 - 662.)
- [11] 吴有富,许连清.一种基于 Kullback-Leiblar 距离的自动多门限图像分割方法及应用[J].贵州大学学报(自然科学版),1998, 15(4):271 - 275.
(WU Youfu, XU Lianqing. A Kulback-Leiblar cross entropy based automatize multipartie thresholding algorithm [J]. *J of Guizhou University (Natural Science)*, 1998, 15(4): 271 - 275.)
- [12] 马颂德,张正友.计算机视觉——计算理论与算法基础[M].北京:科学出版社,1998.
(MA Songde, ZHANG Zhengyou. *Computer Vision: Fundamental Computation Theory and Algorithms* [M]. Beijing: Science Press, 1998.)

作者简介:

管业鹏 (1967—),男,副教授,先后在东南大学和浙江大学从事博士后研究工作,主要研究方向为数字图像处理与分析及立体视觉等,E-mail:ypguan@staff.shu.edu.cn;

顾伟康 (1939—),男,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机视觉、人工智能、智能机器人视觉系统等。

(上接第 380 页)

- [6] PELI E. Contrast in complex image [J]. *J of Optical Society American A*, 1990, 7(10): 2032 - 2040.
- [7] WARD G. A contrast -based scalefactor for luminance display [J]. HECKBERT P S. *Graphics Gems IV*, 1994, 415 - 421.

作者简介:

谢胜利 (1958—),男,华南理工大学无线电与自动控制研究所

教授,博士生导师,IEEE 高级会员,出版学术专著(国家“九五”重点图书)和教材各一部,发表学术论文 70 多篇,4 次获得省部级科技奖励,主要研究方向为非线性系统学习控制、自适应多路回波消除、盲信号处理以及图像处理等,E-mail: suny_scut@163.com;

余庆军 (1973—),男,2001 年获华南理工大学电信学院工程专业硕士学位,现为华南理工大学电信学院通信与信息系统工程专业 2001 级博士生,主要研究方向为自适应信号处理和图像处理。