

文章编号:1004-9037(2012)01-0068-06

# 线搜索式角点检测方法的参数自适应设计

张 磊<sup>1</sup> 花国然<sup>1</sup> 张志胜<sup>2</sup> 付清山<sup>2</sup>

(1. 南通大学机械工程学院,南通,226019;2. 东南大学机械工程学院,南京,211189)

**摘要:**针对线搜索式角点检测方法存在全局固定阈值对实际图像的光线不均匀等不良现象适应性不足的问题,提出了有关参数自适应的设计方法。在原角点检测基本方法的基础上,首先根据局部区域的对比度信息,设计了同值收缩核(USAN)阈值的自适应动态产生方法。其次,给出了高斯去噪的实施建议,以提高线搜索式角点检测方法的抗噪性能,并给出了其他参数值的动态取值建议。实验结果表明,在本文的参数自适应设计方法下,线搜索式角点检测变得更为实用方便,比原固定阈值的基本方法更能适应光线不均匀现象,对于内容、品质差异较大的图像无需频繁调整参数,仍能保持很高的正检率水平,同时伪响应也处于可接受的水平。

**关键词:**角点检测;特征检测;线搜索式;同值收缩核

**中图分类号:**TP391.41 **文献标识码:**A

## Design of Parameter Adaptation for Line Search Corner Detector

Zhang Lei<sup>1</sup>, Hua Guoran<sup>1</sup>, Zhang Zhisheng<sup>2</sup>, Fu Qingshan<sup>2</sup>

(1. School of the Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong, 226019, China;

2. School of the Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing, 211189, China)

**Abstract:** The line search corner detection approach shows ordinary adaptability to uneven illumination for its global thresholds of parameters. In this paper, an adaptive parameter improvement based on the line search corner detector is put forward. The main contribution is the design of the adaptive thresholds of univalued segment assimilating nucleus (USAN) in every steps of the line search corner detector based on the local image contrast. The Gaussian smoothing is introduced for noise suppression. The dynamic values of other parameters are suggested. Experiments show that the parameter adaptation for line search corner detector proposed in this paper has good adaptability to uneven illumination and can keep high detection rate among various real images, while false response is acceptable.

**Key words:** corner detection; feature detection; line search; univalued segment assimilating nucleus (USAN)

## 引 言

角点是图像的一个重要特征,具有旋转不变和不随光照条件改变而明显变化的鲁棒性识别条件,有关检测被广泛应用于光流计算、目标跟踪、运动估计和三维重构等场合。关于角点检测,国内外已有诸多学者提出了相应的方法,一种线搜索式角点检测最近刚刚提出<sup>[1]</sup>,其相比于一些经典方法Harris<sup>[2]</sup>,最小同值收缩核(Small univalued segment

assimilating nucleus, SUSAN<sup>[3]</sup>, 最小亮度变化<sup>[4]</sup>(Minimum intensity change, MIC)等在准确性与快速性方面更为优良。然而研究发现,线搜索式角点检测法全局固定阈值应对多变光线条件的能力显得不足,而且常需要根据图像的光线条件频繁调整有关参数,效率较低。经典的SUSAN, Harris等方法在实际应用时也存在类似问题,一般都需要进行参数的自适应调整,以免去人工频繁调整的弊端,同时提高检测率。

Madasu Hanmandlu<sup>[5]</sup>基于SUSAN算法在边

缘与角点检测的研究改进中使用模糊逻辑方法,针对光线不均匀的现象,在每个像素点的附近,统计有关局部对比度,并依此设立隶属度阈值,即所谓自适应的阈值来确定特征点。Zhiyong Ye<sup>[7]</sup>和Fabio Bellavia<sup>[6]</sup>分别在各自的研究中指出了经典Harris角点检测中应对不同的图像时需要人工凭经验设定有关参数,且全局统一阈值存在不能适应不同区域差异较大的缺点,提出依据有关局部信息的自适应阈值措施加以改善。He<sup>[8]</sup>指出Mokhtarian提出的曲率尺度空间(Curvature scale space, CSS)角点检测方法使用了全局曲率阈值容易导致真实角点丢失或者容易导致伪角点的出现,于是以CSS角点检测为基础,提出了在较小的尺度检测出所有的局部极值点的方法,根据曲率的局部性质构造自适应阈值,先获得候选角点;然后,计算出候选角点的角度,角度过大的予以清除。近期基于自适应思想的新角点检测方法还有Guru D S的算子<sup>[9]</sup>。

另外,不仅是角点检测,其他一些特征检测在基本方法的基础上都会针对实际情况进行调整。Li Ersen<sup>[10]</sup>针对传统Canny边缘检测需使用人工方法设定高低阈值的问题,采用大津法根据梯度直方图自动设定有关阈值。这些自适应参数设计的特点是避免需要根据图像内容频繁进行人工设定的弊端,也利于提高适应图像本身不均匀的能力。

本文将在线搜索式角点检测基本方法<sup>[1]</sup>的基础上,采取类似策略,根据各局部区域的对比度情况自动设定同值收缩核(简称USAN)阈值。

## 1 线搜索式角点检测方法

线搜索式角点检测方法<sup>[1]</sup>要求作用一个以当前像素为中心核的圆掩模,以是否存在一条非穿越线来判断当前像素点是否为角点。该基本判定思想基于一个非常理想的角点几何模型,在实施时,考虑实际图像的诸多因素,原文设计了若干伪响应的抑制措施以补充。原文设计的线搜索式方法主要分为4步进行。

第一步是初始过滤,其以圆掩模边界上的每一对整像素点作为检验点,它是对基本思想的一个粗线条实施,旨在滤除大量平坦区域的像素点,避免后续步骤无谓浪费在对这些像素的执行上,可大大节省计算开销。涉及的参数主要是USAN阈值 $t$ 与圆掩模直径 $D_1$ 。

第二步是提前实施了一个基于整像素点的伪响应抑制方法。其以穿过核及圆掩模内所有可能整像素点的直线进行检验,以是否存在符合设定条件的这种类型搜索线作为候选点是否为伪角点的判断依据。有关逻辑判断在很多方面与线搜索式主方法的逻辑判断相反,故而该步与其他步骤相对独立,又因是对整像素点检验,具有耗时短的特点,为提速考虑,被前移至第二步。该步涉及的参数是USAN阈值 $t$ 与圆掩模直径 $D_2$ 。

第三步是线搜索式方法的主要执行步骤,对每条需要检验的搜索线以足够多的点代表整条搜索线进行,该步主要区别了一般高梯度点与角点。为定义“核附近给定邻域”,设计了“禁检圆”。针对有少量亮度处于搜索线两侧亮度中间的斜坡型边缘点仍未能清除的现象,在第三步实施中补充了有关伪响应抑制措施。该补充措施不能脱离于第三步而独立,参数与第三步必须一致。第三步涉及的参数除USAN阈值 $t$ 与圆掩模直径 $D_3$ 外,还有禁检圆半径 $r_n$ 和搜索线数目 $n$ 。

第四步的非极大值抑制实质上也是一种伪响应抑制措施,其思想方法已在绝大多数文献中介绍。涉及的参数主要是窗口宽度。

## 2 自适应USAN阈值设计

在线搜索式角点检测方法中,对结果产生主要影响的是USAN阈值 $t$ ,其他参数在建议的取值下可以适应于不同的图像不必做太多调整。或者即便需要调整的也可以由USAN阈值 $t$ 做等效调整来替代。 $t$ 与图像对比度息息相关。本文拟采用自适应阈值的方法,其基本思想是根据当前像素点所处区域的对比度来动态调整相应的阈值,达到适应明暗不均的目的。

### 2.1 局部区域对比度获取

为统计各个局部区域的对比度,常见的简捷做法是把图像划分为 $M \times N$ 个子图像,每个子图像为方便规定长宽相等。一般情况,图像的长宽均为8的倍数,我们也规定子图像的宽度为8的倍数。将子图像的尺寸大小设计与母图像的尺寸有关。设母图像的宽度为 $W_1$ ,子图像宽度 $W_{s1}$ 。简单规定

$$W_{s1} = \begin{cases} 32 & W_1 \geq 512 \\ 16 & W_1 < 512 \end{cases} \quad (1)$$

本文借鉴了文献[11,12]的对比度计算公式

$$\Delta g = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n I_{i\max} - \sum_{i=1}^n I_{i\min} \right) \quad (2)$$

式中  $I_{i\max}$  表示最亮  $n$  个象素点的第  $i$  个点亮度值,  $I_{i\min}$  表示最暗  $n$  个象素点的第  $i$  个点亮度值。对于当前象素点落入第  $ij$  ( $1 \leq i, j \leq m$ ) 个子图像的, 统计该子图像  $n$  个最亮的点与最暗的点。为减小计算量, 本文采用间隔采样的方式统计子图像中的象素点。

## 2.2 第二步 USAN 动态阈值设计

研究表明线搜索式角点检测法的第二步对阈值比较敏感, 第一步与第三步对阈值不是很敏感。故先讨论第二步的阈值  $t_2$  与当前点所处的子图像对比度  $\Delta g$  之间的关系与设置。

选取图像中对阈值变动非常敏感的某正常角点与伪角点作为设计的依据。图 1 中的黑实心点是 3 个不同对比度图(图 2)的某正常角点在不同对比度  $\Delta g$  下不可以被抑制的阈值  $t_2$  的取值情况。对应的值如图 1:  $\Delta g = 144, t_2 \leq 16$ ;  $\Delta g = 110, t_2 \leq 12$ ;  $\Delta g = 75, t_2 \leq 8$ 。图中虚线  $l_2$  为  $t_2$  取上限值时拟合的直线, 初步的方程表达为:  $t_2 = m \times \Delta g + c$ , 由以上数据得:  $m = 0.1143, c = -0.57$ 。另一方面第二步的  $t_2$  越小, 对伪特征的抑制效果就越差, 故上述直线斜率  $m$  不可过小, 故简单取

$$t_2 = 0.1\Delta g \quad (3)$$

如图中的  $l_2$  所示。  $l_2$  位于虚线  $l_2$  下方的阴影区 B, 在这一区域正常角点不会被错误抑制。

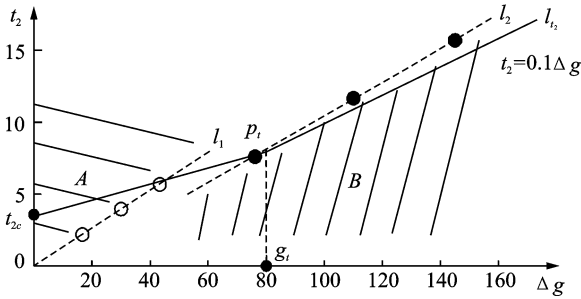


图 1 第二步的自适应 USAN 阈值设计过程

根据关系式(3), 在较低对比度区域, 因产生的阈值偏低, 对于伪角点的抑制不足。为此, 需要在较低对比度下修正前述关系式(3)。本文选取了 3 个不同对比度图(图 2)中不易被抑制的某伪角点, 在不同对比度  $\Delta g$  下它应该被抑制的阈值  $t_2$  的取值情况, 如图 1:  $\Delta g = 42, t_2 \geq 6$ ;  $\Delta g = 31, t_2 \geq 4$ ;  $\Delta g = 19, t_2 \geq 2$ 。图 1 中虚线  $l_1$  为  $t_2$  取下限值时拟合的直线。可以看出要求的 USAN 阈值都比由关系式(3)产生的高。即希望  $t_2$  应该位于虚线  $l_1$  的上方阴影区 A。故在对比度较小时初步设计了另一直线, 其从

转折点  $p_t$  到截距点  $t_{2c}$ , 如图 1。方程初步表达为

$$t_2 = \left( 0.1 - \frac{t_{2c}}{g_t} \right) \Delta g + t_{2c}, \quad \Delta g \leq g_t \quad (4)$$

式中  $t_{2c}$  表示在  $t_2$  坐标轴上的截距,  $g_t$  表示转折点处的对比度。实验中发现在对比度  $\Delta g$  接近  $g_t$  时, 按关系式(4)产生的  $t_2$  对伪响应的抑制还是有点不足, 但不宜简单抬高截距  $t_{2c}$ , 因为那样会使直线趋于水平失去自适应的意义, 同时会出现真实特征在更低对比度区域误被抑制的现象。拟通过随  $\Delta g$  的增加自动提高截距  $t_{2c}$  来实现, 设计一个动态的  $t_{2c} = \beta \Delta g + t_{2\_min}$ 。由于在转折点处需满足  $0.1g_t = \beta g_t + t_{2\_min}$ , 故  $\beta = 0.1 - \frac{t_{2\_min}}{g_t}$ , 所以

$$t_2 = \left[ \frac{0.1 - \frac{t_{2\_min}}{g_t}}{g_t} \right] \Delta g^2 +$$

$$2 \left( 0.1 - \frac{t_{2\_min}}{g_t} \right) \Delta g + t_{2\_min}, \quad \Delta g \leq g_t \quad (5)$$

综合前面, 另有

$$t_2 = 0.1\Delta g, \quad \Delta g > g_t \quad (6)$$

转折点的对比度  $g_t$  一般取值 80,  $t_{2\_min}$  是在低对比度时防止阈值过低的偏置值。

## 2.3 第一步、第三步 USAN 动态阈值设计

参照  $t_2$  的设计过程将第一步与第三步的 USAN 阈值  $t_1, t_3$  也初步设计为:  $t_1 = t_3 = m\Delta g, m = 0.1$ 。研究表明, 此表达式在很低对比度区域, 由于阈值过低, 对弱角点响应的同时, 也会对纹理、噪声等产生过响应。故计算式修正为

$$t_1 = t_3 = 0.1\Delta g + t_{min} \quad (7)$$

其中  $t_{min}$  是防止阈值过低的偏置值。

$t_{min}$  与第二步中的  $t_{2\_min}$  的作用类似。根据实验经验一般  $t_{min} = 6, t_{2\_min} = 4$  为宜, 也可简单令  $t_{2\_min} = \frac{2}{3} t_{min}$ 。在本设计中, 该两值只作为防止阈值过低的偏置值, 一般不必作变动。

## 3 其他参数的设计

文献[1]指出, 线搜索式角点检测抗噪性并不见长, 面对噪声较重的图像时, 本文的措施是引入高斯平滑。研究发现线搜索式角点检测方法中的一些参数与高斯平滑强度  $\sigma^2$  有关。

关于禁检圆  $r_n$ , 与图像的模糊程度有关。因为随着图像被平滑的程度加强, 核附近与核同值的区域势必增大, 则禁检圆需相应扩大, 故  $r_n$  设计为与图像高斯平滑的尺度有关

$$r_n = 2\sigma^2 + 4 \quad (8)$$

经过本文参数自适应改进后,线搜索式角点检测法对噪声与纹理敏感性有所增加,故取 $\sigma^2=1$ , $r_n=6$ 为默认值。

为保证在搜索线上的充分检验,第三步的直径 $D_3$ 应该随着 $r_n$ 的增大而相应增大,且增幅应该更多,而 $r_n$ 是随 $\sigma^2$ 的增大而增大,故设计

$$D_3 = 17 + 4\sigma^2 \quad (9)$$

搜索线数目与非极大值抑制窗口宽度按原基本方法的建议即可,可不必做频繁调整。

## 4 实验结果

### 4.1 典型图作用效果

图2是使用文献[1]推荐的默认固定阈值的效果。从图可见在对比度增强与减弱的情况下,采用不变的参数值,检测率发生了明显的变化。图2(b)相比于图2(a)在相同参数值下产生了更多的伪响应,而图2(c)在相同参数值下一些真实特征遗漏更多。后两幅图也可以人工调整有关参数值,使其效果要优于图2所示,但人工调整毕竟是不方便的。另外图2(a)本身存在亮度不均匀、对比度有强有弱的情况。在对比度强的区域检测率尚可,但在对比

度弱的区域则正检率偏低。这便是全局统一阈值的缺陷。

图3是本文设计的参数自适应方法的角点检测效果,因该图噪声不严重,高斯平滑未介入,即 $\sigma^2=0$ 。 $t_{\min}$ 设定为默认值6。从图3与图2的对比可得到如下的结论:

固定参数值对光线变化的适应能力明显不如自适应的参数值。自适应的参数方法不仅很好地应对了图3在对比度方面的增强与减弱,表现在图3的三幅图检测结果差异不大,而且应对图3(a)本身的光线不均匀能力增强,表现在图3(a)一些暗弱特征响应优于图2(a),同时伪响应并不增多。

图4给出了被广泛用来测试角点检测算法的典型实际图——木块图与房屋图(该两图在本文引用的几乎所有文献中都出现过)在原基本方法与本文参数自适应的改进方法下对比效果。为了进一步说明问题,在不同曝光与对比度条件下作者拍摄了其他富含角点的图像。这些图有的是在暴光等方面的正常设置条件下的;有的是刻意进行了较暗或过分地暴光;有的背景里的地面含有花纹,有的目标物很亮,而有的则较暗。图5是这些条件下参数自适应改进的线搜索式角点检测法效果典型图。



图2 固定阈值的线搜索式角点检测法效果



图3 参数自适应改进的线搜索式角点检测法效果

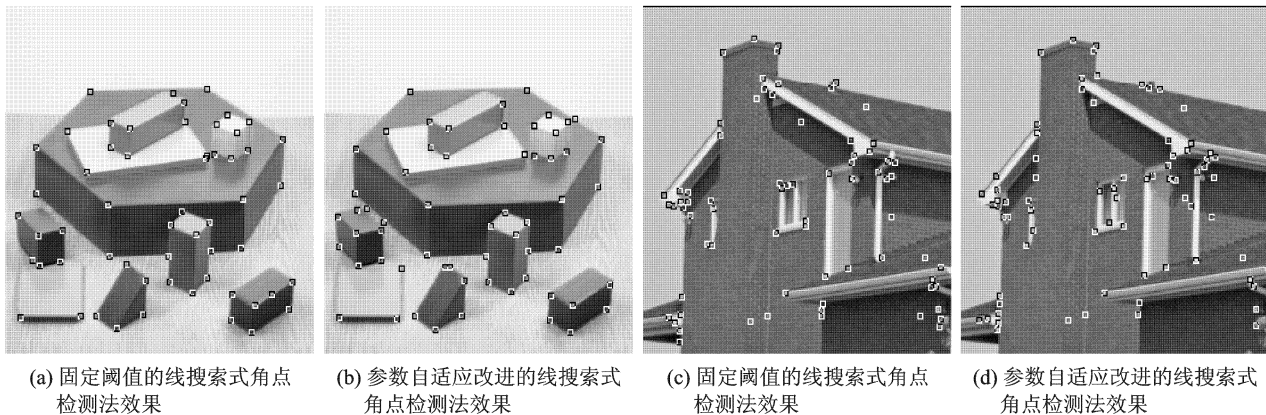


图 4 固定阈值和参数自适应改进的线搜索式角点检测法效果对比

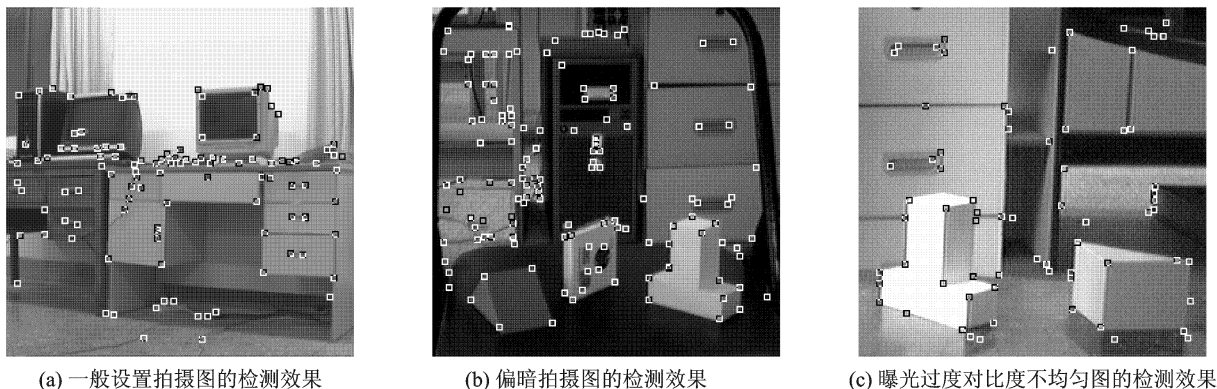


图 5 若干曝光或对比度程度不同图在参数自适应改进的线搜索式角点检测法下的作用效果

从图 4 与图 5 可见,参数自适应改进方法能够对弱(包括角度更大或更模糊的)真实特征更好地响应。参数自适应的线搜索式角点检测方法也显示了对局部凸起点以及与周边地区有明显亮度差异的斑块更易响应。然而这些是否就一定是伪响应本身难有定论,因为从低层次的图像数据角度它们有的是可以被视为正常角点的。所以这些响应不一定被认为是不合理的。

## 4.2 检测率定量对比实验

本文对所列出的图,以及其他一些图像进行了有关检测率的统计,以利于更客观明了地定量对比,结果如表 1。这些图明暗不均匀现象更严重,噪声更多。自适应的线搜索式角点检测方法相比于线搜索式基本方法,虽然对伪特征与噪声的响应有所增强,但对暗弱特征能很好地响应,正检率水平明显提升,即真实特征遗漏很少。

表 1 两种线搜索式角点检测法在较多样本下的平均检测率 %

算法	线搜索式基本方法	线搜索式自适应改进
正检率 $R_D$	86.7	94.1
误检率 $R_F$	21.2	27.5

另外,实验中,原基本方法需要频繁调整参数值以求最佳综合结果,而本文的参数自适应方法并不需要如此,却仍然保持了很高的正检率。

## 5 结束语

本文在线搜索式角点检测基本方法的基础上,主要针对 USAN 阈值,根据局部区域的对比度信息设计了自适应的阈值产生方法。同时根据实际图像的噪声情况,给出了高斯去噪的实施建议,并给出了其他参数值的动态取值建议。结果表明,在本文的参数自适应改进下,线搜索式角点检测变得更为实用方便,对于内容、品质差异较大的图像无需频繁调整参数,仍能保持很高的正检率水平,同时伪响应也属于可接受的水平。

### 参考文献:

- [1] 张磊,张志胜,史金飞,等.一种快速检测图像角点特征的线搜索式方法[J].自动化学报,2010,36(4):509-521.  
Zhang Lei, Zhang Zhisheng, Shi Jinfei, et al. A new algorithm for fast corner detection using line search mechanism[J]. ACTA Automatic Sinica, 2010, 36

- (4): 509-521.
- [2] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Proc of the 4th Alvey Vision Conference, 1988: 147-151.
- [3] Smith S M, Brady M. SUSAN—A new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78.
- [4] Trajkovic M, Hedley M. Fast corner detection[J]. Image and Vision Computing, 1998, 16(1): 75-87.
- [5] Hanmandlu M, Verma O P, Pankaj G, et al. Fuzzy edge and corner detector for color images[C]//New Generations. Sixth International Conference on Information Technology, 2009:1301-1306
- [6] Ye Zhiyong, Pei Yijian, Shi Jihong. An adaptive algorithm for harris corner detection[C]//International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, 2009: 1-4.
- [7] Bellavia F, Cipolla M, Tegolo D, et al. An evolution of the non-parameter harris affine corner detector; a distributed approach [C]//International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009: 18-25.
- [8] He X C, Yung N H C. Curvature scale space corner detector with adaptive threshold and dynamic region of support[C]//IEEE the 17th International Conference on Pattern Recognition, 2004: 791-794.
- [9] Guru D S, Dinesh R. Non-parametric adaptive region of support useful for corner detection; a novel approach [J]. Pattern Recognition, 2004, 37: 165-168.
- [10] Li Ersen, Zhu Shulong, Zhu Baoshan, et al. An adaptive edge-detection method based on the canny operator [C]//International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, 2009: 465-469.
- [11] 席志红,刘利彬,许新利. SUSAN 角点检测算法改进 [J]. 应用科技, 2006, 33(9): 29-31.  
Xi Zhihong, Liu Libin, Xu Xinli. The improvement of corner detection of SUSAN algorithm[J]. Applied Science and Technology, 2006, 33(9): 29-31.
- [12] 张坤华,王敬儒,张启衡. 多特征复合的角点提取方法 [J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(4): 319-324.  
Zhang Kunhua, Wang Jingru, Zhang Qiheng. Corner detection based on multi-feature [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(4): 319-324.

**作者简介:**张磊(1973-),男,博士,研究方向:计算机视觉、机器人,E-mail: zhangleint@ntu.edu.cn;花国然(1964-),男,博士,教授,研究方向:机器人视觉、视觉引导的激光加工;张志胜(1974-),男,教授,博士生导师,研究方向:机器视觉,图像处理、制造过程质量控制,机电系统工程与一体化;付清山(1982-),男,博士,研究方向:视觉伺服机器人控制,机器视觉与图像处理的应用。