

# 飞行器下视景像边缘提取和定位方法研究

刘 煜 李言俊 张 科

(西北工业大学航天学院, 西安 710072)

**摘 要** 针对图像匹配受几何变形的影响, 提出了一种基于相邻像素间的灰度差异来提取图像多像素边缘的方法。采用该方法, 能够显著改善因边缘偏移、旋转、尺度变化等原因造成的基准图与实时图的变形对匹配定位的影响。实验结果表明, 该方法具有模型简单、实时性强和抗几何变形等特点, 且便于实现。

**关键词** 边缘提取 匹配与定位 单像素边缘 多像素边缘

**中图分类号**: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2008)11-2170-06

## Researching to Edge Detecting and Locating of Aero Craft Down-view Image

LIU Yu, LI Yan-jun, ZHANG Ke

(College of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**Abstract** To reduce the influence of geometrical deformation on image matching, we put forward a method which can detect multi-pixels edge of image. The method is based on difference of gray-level between the border upon pixels. Adopting matching method of multi-pixels edge, matching between datum image and real-time image is improved observably because of deformation, such as edge excursion, rotate and scale transformation. The result show that, the multi-pixels edge detecting and matching method is of simple model, perfect real-time quality and power ability to counteract the effect of geometrical deformation. The whole system can be realized easily.

**Keywords** edge detecting, matching and locating, single pixel edge, multi-pixels edge

## 1 引 言

图像制导是提高导弹等飞行器命中精度的一种重要方法。无论是红外图像、雷达图像还是可见光图像本身都包含大量的信息, 但不易直接用于目标识别和定位, 通常的方法是先提取图像的主要特征(边缘轮廓、纹理、灰度等), 再识别和定位。研究表明, 边缘特征是图像主要特征之一, 并具有很强的稳定性, 因此, 提取图像边缘特征对图像处理具有重要意义<sup>[1]</sup>。目前, 许多文献资料介绍的基于 Prewitt、Robert 算子等的边缘提取方法, 往往得到图像的单像素边缘, 当图像存在客观几何变形时, 应用这些单

像素边缘方法进行图像匹配定位研究时, 匹配的可靠性大大降低, 并且运算量大, 影响实时应用。本文依据图像中相邻像素间的灰度差异, 提出一种提取图像多像素边缘的方法, 这种方法实现简单, 便于实时运算。对 1 幅  $256 \times 256$  大小的图像进行边缘提取需要的时间约 0.14s, 分别比 Prewitt 算子和 Robert 算子少了约 40% 和 35%。当图像存在变形时, 应用这种方法进行匹配研究, 可有效提高图像匹配和定位的可靠性。

## 2 多像素边缘提取

本文边缘提取的方法不同于基于灰度梯度的

基金项目: 航空科学基金项目(04153067); 航空支撑科技基金项目(05C53005)

收稿日期: 2006-10-25; 改回日期: 2007-05-25

第一作者简介: 刘 煜(1974 ~ ), 男。西北工业大学导航、制导与控制专业博士研究生。主要研究领域为航天器和导弹控制系统的精确制导, 图像处理算法。E-mail: liuyu1974@sohu.com

Prewitt、Robert、Sobel 等算子对图像边缘提取的方法<sup>[2-4]</sup>。基本原理是:计算图像中相邻像素间的灰度差,取定阈值,当灰度差大于该阈值时,将作为灰度差中被减数的像素值赋 1;当灰度差小于或等于该阈值时,将相应像素值赋 0。计算图像中相邻像素间的灰度差时,将图像作为相应矩阵,用相邻列或相邻行相减,可快速得到灰度差。设  $G$  为待处理图像,  $\hat{G}$  为  $G$  的位移图像,当  $\hat{G}$  作列位移时,如式(1)所示:

$$G = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1,n-1} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2,n-1} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{m,n-1} & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\hat{G} = \begin{bmatrix} a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1,n} & 0 \\ a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} & 0 \end{bmatrix}$$

那么

$$G - \hat{G} = \begin{bmatrix} a_{11} - a_{12} & a_{12} - a_{13} & \cdots & a_{1,n-1} - a_{1n} & a_{1n} \\ a_{21} - a_{22} & a_{22} - a_{23} & \cdots & a_{2,n-1} - a_{2n} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} - a_{m2} & a_{m2} - a_{m3} & \cdots & a_{m,n-1} - a_{mn} & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

用  $|a_{i,j} - a_{i,j+1}|$  表示式(2)矩阵中的元素,其中  $1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n-1$ 。当  $|a_{i,j} - a_{i,j+1}| > T$  时,将  $a_{i,j}$  的灰度值置为 1;当  $|a_{i,j} - a_{i,j+1}| \leq T$  时,将  $a_{i,j}$  的灰度值置为 0,这样就得到了列位移时图像

$G$  的二值边缘图。

同理,当  $\hat{G}$  作行位移时,  $G$  和  $G - \hat{G}$  亦作相应改变,即

$$\hat{G} = \begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad G - \hat{G} = \begin{bmatrix} a_{11} - a_{21} & a_{12} - a_{22} & \cdots & a_{1n} - a_{2n} \\ a_{21} - a_{31} & a_{22} - a_{32} & \cdots & a_{2n} - a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m-1,1} - a_{m1} & a_{m-1,2} - a_{m2} & \cdots & a_{m-1,n} - a_{mn} \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

用  $|a_{i,j} - a_{i+1,j}|$  表示式(3)矩阵中的元素,其中  $1 \leq i \leq m-1, 1 \leq j \leq n$ 。当  $|a_{i,j} - a_{i+1,j}| > T$  时,将  $a_{i,j}$  的灰度值置为 1;当  $|a_{i,j} - a_{i+1,j}| \leq T$  时,将  $a_{i,j}$  的灰度值置为 0,这样就得到了行位移时图像  $G$  的二值边缘图。以上列位移和行位移所选取的阈值  $T$ ,均采用类间方差最大化阈值分割算法得到<sup>[5]</sup>。

采用 Matlab 语言编程、选择标准图像对提出的算法进行计算机仿真实验。图 1(a) 为  $256 \times 256$  的 rice 原始图像,图 1(b) 为用 Prewitt 算子对边缘提取的结果,耗时 0.235s,图 1(c) 为 Robert 算子对边缘提取的结果,耗时 0.218s。

图 1(d) 为本文列位移算法的结果,耗时 0.141s。从仿真结果可以看出,与本文列位移算法结果相比, Prewitt 算子、Robert 算子对背景和对比度较小的部分(图像底端)边缘提取效果较差;Robert 算子对图像四周的边缘提取效果较差;整体边缘提取效果本文方法要优于 Prewitt 算子和 Robert 算子。从边缘提取时间开销角度看,本文方法耗时较短,分别比 Prewitt

算子和 Robert 算子少了 40% 和 35%。

图 1(e) 为本文行位移算法的结果,耗时 0.115s。从仿真结果可以看出,与本文行位移算法结果相比, Prewitt 算子、Robert 算子对图像边缘的提取仍有相同的缺陷。从整体边缘提取效果来看,本文行位移算法要优于两种算子。从边缘提取时间开销角度看,本文方法耗时较短,分别比 Prewitt 算子和 Robert 算子少了 42% 和 37%。

以上对本文的行、列位移算法进行了实现。对比行、列位移算法仿真结果发现,它们对原始图像的边缘提取效果基本相似,均优于 Prewitt 算子和 Robert 算子的提取效果;同时列位移算法对竖直边缘提取完整,但对水平边缘有所丢失,相反行位移算法对水平边缘提取完整,但对竖直边缘有所丢失。

Prewitt、Robert 算子得到的均为单像素边缘,而本文方法得到的是多像素边缘,一般边缘像素个数为 3。在图像匹配时,多像素边缘的匹配概率要高于单像素,应用此特点,研究飞行器下视景实时图像

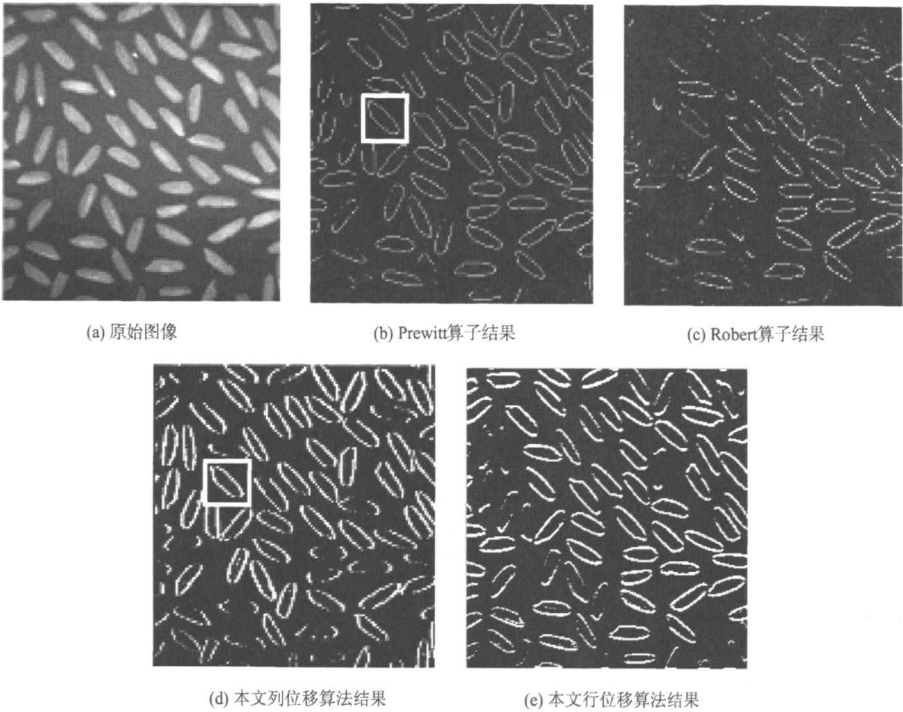


图 1 Rice 图像及其边缘提取结果  
Fig.1 Rice image and its edge detecting results

与基准图像的匹配与定位问题,首先研究像素点及边缘有偏移时的相关性。

3 像素点及边缘的相关性

3.1 像素点偏移对相关性的影响

假设图 2(a)为单像素点,图 2(b)为多像素点,当它们各自偏移 1 至 3 个像素(图 2 为偏移一个像素的情形,箭头指示为偏移方向)后,用式(4)所示的 Nprod 算法计算与原位置像素的相关性。

$$R(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{i,j} Y(a,b)_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Y^2(a,b)_{i,j}}} \quad (4)$$

Nprod 算法是一种求实时图(偏移后像素)与基准图(原像素)之间互相关系数的方法。其中  $X_{i,j}$  是大小为  $m \times n$  的实时图在  $(i,j)$  位置的像素灰度,  $Y_{i,j}$  是大小为  $M \times N$  的基准图在  $(i,j)$  位置的像素灰度,其中  $M > m, N > n$ 。  $Y(a,b)_{i,j}$  表示基准图以  $(a,b)$  为中心、与实时图大小相等,对应  $(i,j)$  位置的像素灰度。

计算结果表明,单像素点若存在偏移,相关

性骤然降低至 0;而多像素点偏移时相关性缓慢减小,结果如表 1 所示。因此,当存在像素点偏移时,多像素点与原像素的相关性远大于单像素与原像素的相关性。

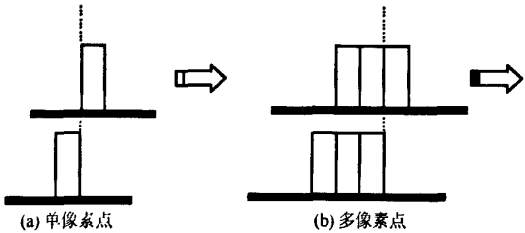


图 2 单像素点和多像素点产生偏移时的情况  
Fig.2 Single pixel point and multi-pixels point be displaced

表 1 单像素点及多像素点存在偏移时的相关性  
Tab.1 Relativity of single pixel point and multi-pixels point with excursion

单位: %				
偏移像素个数	0	1	2	3
单点匹配	100	0	0	0
多点匹配	100	67	17	0

3.2 图像边缘偏移对相关性的影响

用 prewitt 算子提取 rice 图的单像素边缘如图 1(b) 所示,从中以 (99,69) 为中心提取 39 × 39 的窗口图(见图 1(b)中白色方框),计算该窗口图与基准图中以 (99,69) 为中心和中心偏移 1~3 个像素位置后所得窗口图的相关性如表 2 所示。结果表明,中心存在偏移时,相关性立即减小。

用本文方法提取 rice 图的多像素边缘如图 1(d) 所示,同样以 (99,69) 为中心提取 39 × 39 的窗口图(见图 1(d)中白色方框),计算该窗口图与基

准图中以 (99,69) 为中心和中心偏移 1~3 个像素位置后所得窗口图的相关性如表 2 所示。以上计算相关性时仍采用式(4)所示的 Nprod 算法。结果表明,多像素边缘图像若偏移 1~3 个像素,与窗口图像之间仍有很大的相关性。

因此,当实时图与基准图之间存在局部变形时,单像素边缘匹配方法将会影响实时图与它在基准图真实位置的相关性,而采用多像素边缘匹配方法,仍能保证整体上较大的相似性,可减小相关算法受边缘变形等的影响。鉴于此特点,进一步研究基于多像素边缘的图像匹配和定位问题。

表 2 单像素边缘及多像素边缘存在偏移时的相关性  
Tab. 2 Relativity of single pixel edge and multi-pixels edge with excursion

偏移像素数	-3	-2	-1	0	1	2	3
基准图中心位置	(99,66)	(99,67)	(99,68)	(99,69)	(99,70)	(99,71)	(99,72)
单像素边缘匹配相关值	0.064	0.092	0.205	1.000	0.221	0.102	0.072
多像素边缘匹配相关值	0.304	0.491	0.737	1.000	0.745	0.513	0.323

注:偏移像素数中“-”表示反向偏移。

4 基于多像素边缘的匹配与定位

在图 3 所示大小为 256 × 256 的下视景像图中,取定机场敏感部位:第一中间联络道,中心坐标为 (67,97);机窝群,中心坐标为 (62,67);第二中间联络道,中心坐标为 (97,112);主跑道和主滑行道中段,中心坐标为 (162,172),再分别以上述坐标为中心点截取 35 × 35 的(f),(g),(h),(i)4 幅窗口图作为实时图(如图 3 所示),以该下视景像图为准图,对基准图和实时图用 Prewitt 算子提取的单像素边缘图分别如图 3 中(b),(f1),(g1),(h1),(i1)所示。用本文方法对基准图和 4 幅实时图提取的多像素边缘图分别为图 3 中(c),(f2),(g2),(h2),(i2)。对单像素边缘图和多像素边缘图做逆时针旋转 2°且缩小 0.95 倍的几何变形后如图 3(d)和(e)所示。

当基准图无几何变形时,实时图与基准图的匹配定位即为图 3(f1)~图 3(i1)和图(f2)~图(i2)分别在图 3(b)和图 3(c)中的定位;当基准图存在几何变形时,实时图与基准图的匹配定位即为图 3(f1)~图 3(i1)和图 3(f2)~图 3(i2)分别在图 3(d)和图 3(e)中的定位。通过式(4)计算相应

边缘之间的相关性,进而确定实时图在基准图中的位置,由式(5)判定实时图与基准图是否完成了准确匹配。

$$r \leq \rho, r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2} \tag{5}$$

式中,r 为匹配半径,(x,y)为基准图中心位置的坐标。(x',y')为实时图中心位置的坐标,ρ 表示准确匹配时的误差半径允许值,式中各因子的单位均为图像素数。通常 ρ 的取值为 4.2。该式表明存在一个以 (x,y) 为中心,以 ρ 为半径的区域,若实时图的中心点 (x',y') 处于该区域,则实时图与基准图为准确匹配,否则,为未准确匹配。

计算结果表明,当实时图与基准图之间无几何变形时,单像素边缘和多像素边缘均能准确匹配 (r=0,r<ρ);当实时图与基准图之间存在几何变形时,单像素边缘的实时图不能找到它在基准图中的准确位置,出现了错误匹配 (r>>ρ)。而多像素边缘的实时图均可准确匹配 (r<ρ),匹配结果及匹配半径 r 如表 3 所示。

分析结果表明,当两幅图存在几何变形时,采用通常的(即单像素)边缘匹配方法,将影响图像的匹配定位;而采用本文的多像素边缘匹配方法,可以增加实时图与它在基准图中真实位置的相关性,增强了边缘特性,提高了匹配可靠性。

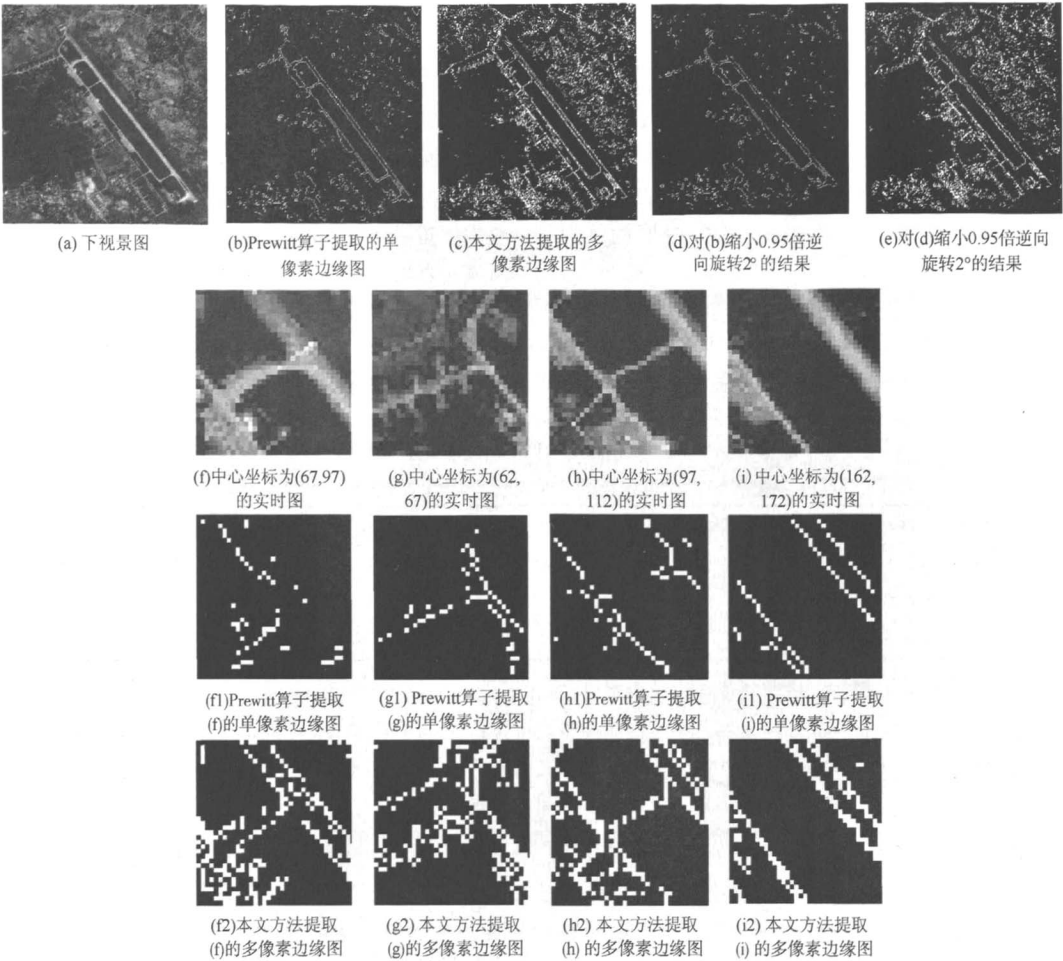


图 3 下视图景像图及其边缘提取图

Fig. 3 Down-view image and its edge detecting results

表 3 单像素边缘匹配和多像素边缘匹配受几何变形影响比较

Tab. 3 Compare single pixel edge matching with multi-pixels edge matching with geometrical deformation

基准图中心位置	无几何变形边缘匹配		有几何变形边缘匹配	
	单像素边缘/半径	多像素边缘/半径	单像素边缘/半径	多像素边缘/半径
(67,97)	(67,97)/0	(67,97)/0	(106,21)/85.4	(70,95)/3.6
(62,67)	(62,67)/0	(62,67)/0	(194,22)/139.5	(66,67)/4
(97,112)	(97,112)/0	(97,112)/0	(114,40)/74.0	(98,111)/1.4
(162,172)	(162,172)/0	(162,172)/0	(110,62)/121.7	(160,169)/3.6

5 结 论

本文提出了一种提取图像多像素边缘的方法，并基于该多像素边缘可增大图像之间相关性的特

点,对存在几何变形的实时图和基准图进行了可靠匹配。从实验结果得到以下结论：

(1) 图像的多像素边缘提取方法,具有模型简单且实时性强的特点,采用 Matlab 语言编程对 1 幅 256 × 256 大小的图像进行边缘提取时,列位移算法

所需要的时间约为 0.14s, 分别比 Prewitt 算子和 Robert 算子少了 40% 和 35%。行位移算法所需要的时间约为 0.12s, 分别比 Prewitt 算子和 Robert 算子少了 42% 和 37%。同时, 列位移算法对竖直边缘提取完整, 但对水平边缘有所丢失, 相反行位移算法对水平边缘提取完整, 但对竖直边缘有所丢失。对列位移算法和行位移算法进行有效融合是下一步的研究工作。

(2) 当像素点偏移增大时, 单像素与原像素的相关性骤然降低至 0, 而多像素点与原像素的相关性则缓慢降低。即多像素点增加了原像素点与偏移后像素点间的相关概率。

(3) 当边缘偏移变大时, 图像的单像素边缘与其原单像素边缘的相关性急剧降低至几乎为 0, 而图像的多像素边缘与其原多像素边缘的相关性则缓慢降低。即图像的多像素边缘增大了原图像边缘与偏移后图像边缘间的相关概率。

(4) 对于客观因素造成的几何变形, 通常基于单像素边缘的匹配方法, 不能可靠、有效地对图像进行定位, 而本文提出的基于图像多像素边缘的匹配方法能够克服几何变形的影响, 提高了匹配的可靠性, 是一种有效的抗图像失真边缘的匹配方法, 对于

存在几何变形的图像匹配与定位研究, 具有重要意义。

### 参考文献 (References)

- 1 Wang Feng. Researching to matching and locating of Aerocraft down-view Image [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2001. [王峰. 飞行器下视景象匹配与定位方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2001.]
- 2 Duan Rui-Ling, Li Qing-xiang, Li Yu-he. Summary of image edge detection[J]. Optical Technique, 2005, 31(3): 415 ~ 419. [段瑞玲, 李庆祥, 李玉和. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005, 31(3): 415 ~ 419.]
- 3 Zhou Xin-ming, Lan Sai, Xu Yan. Comparison of the edge detection algorithms in image processing[J]. Modern Electric Power, 2000, 17(3): 65 ~ 69. [周心明, 兰赛, 徐燕. 图像处理中几种边缘检测算法的比较[J]. 现代电子, 2000, 17(3): 65 ~ 69.]
- 4 Wu Jian-feng, Lin Qiang. An edge-detecting method of images[J]. Journal of Fuzhou University(Natural Science), 2000, 28(4): 26 ~ 28. [吴剑锋, 林强. 一种图像边缘检测的新算法[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 26 ~ 28.]
- 5 Liang Ming-guang, Sun Ji-xiang, Ma Qi, et al. An application of ostu algorithm on canny operator[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2003, 25(5): 36 ~ 39. [梁光明, 孙即祥, 马琦等. Ostu 算法在 Canny 算子中的应用[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(5): 36 ~ 39.]