

DICOM 数据的动态边界检测

韩培友¹⁾ 董桂云²⁾

¹⁾(浙江工商大学计算机与信息工程学院, 杭州 310035) ²⁾(浙江工商大学统计与数学学院, 杭州 310035)

摘要 根据广义模糊集理论,提出了用于 DICOM 数据的动态边界检测算法。该算法可以动态提取 DICOM 数据的多种边界。既可以忽略细节提取 DICOM 数据的粗略边界,也可以增强细节提取 DICOM 数据的细节边界。文献[5]和[8]是该算法的特例。最后给出彩色图像的动态边界检测方法。

关键词 动态边界检测 图像增强 广义模糊集 线性广义模糊算子 DICOM

中图法分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)08-1481-05

Dynamic Edge Detection of DICOM Data

HAN Pei-you¹⁾, DONG Gui-yun²⁾

¹⁾(College of Computer Science and Information Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035)

²⁾(College of Statistics and Mathematics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035)

Abstract According to theory of generalized fuzzy sets, the dynamic edge detection algorithm of DICOM Data was given. Many edges were detected by use of the algorithm. That is, not only detect rough edge through ignore detail, but also detect detail edge through enhancement detail. Article [5] and [8] were specials instance. At last, dynamic edge detection algorithm of RGB image was given.

Keywords dynamic edge detection, image enhancement, generalized fuzzy set, linear generalized fuzzy operator, DICOM (digital imaging and communications in medicine)

1 引言

医学数字成像与通信 DICOM(digital imaging and communications in medicine) 3.0 是美国放射学会(american college of radiology, ACR)和美国电子厂商联合会(national electrical manufacturers association, NEMA)最近推出的,并且在医学信息领域蓬勃兴起的一种通用的与生产厂商无关的图像及数据通讯标准。目前已广泛地应用于各种医学成像设备和图像存档与通信系统 PACS (picture archiving and communication systems)。

图像增强技术是图像处理、图像分析和图像理解的基本技术,其目的是通过对图像进行加工处理,得

到满足具体应用要求的图像。由于对于不同的具体应用,其目的和要求各不相同,因此,需要利用图像增强技术来改善图像的视觉效果、可判断性和可识别性。图像增强算法按照处理方法分为:空域算法和频域算法;按照处理范围分为:局部算法和全局算法;按照处理对象分为:灰度图像和彩色图像增强算法。

模糊集理论^[1,2]是描述不精确或不确定问题的软计算工具,用于研究信息系统中知识的不完善,不准确问题。Pal 等人提出了一种图像边界检测模糊算法^[3,4],该方法在 X 光图像的边界检测中取得了较好的结果。陈武凡等人利用广义模糊集理论,给出了一种图像边界检测算法^[5]。王晖等人利用广义模糊集理论,改进了陈武凡的算法,给出了改进的图像边界检测算法^[6,7]。

基金项目:西安市科技局科技攻关项目(HJ2004033)

收稿日期:2006-07-17;改回日期:2007-02-09

第一作者简介:韩培友(1964 ~),男,副教授。2004 年获西北工业大学信号与信息处理专业博士学位。主要研究方向为体绘制技术、数据库系统及其应用等。E-mail:happyyou@mail.zjgsu.edu.cn

图像边界检测是图像处理的重要分支,经常用于图像分割。目前有多种依据灰度不连续性理论的边界检测方法,模糊集理论在人工智能、模式识别和图像工程等领域是一种能够描述人的视觉特征的有效软计算工具。但是,文献[3]~[7]方法采用幂函数形式的模糊隶属函数将普通空间变换为广义模糊空间,运算量大,并会损失图像中部分低灰度值的边界信息;同时在对图像进行增强处理时采用的变换是非线性变换。

本文在研究图像边界检测算法的基础上,利用广义模糊集理论,给出了一种医用动态边界检测算法。即利用该算法既可以忽略细节提取图像的粗略边界,也可以增强细节提取图像的细节边界,从而可以动态提取图像的多种边界。使得该算法在多项指标上均超过了文献[3]~[7]。文献[5]和文献[8]是本文算法在 $t=r/4$ 的特例。最后利用动态 K-L 变换^[9](karhunen-Loeve transform)给出了彩色图像的动态边界检测方法。虽然该算法特别适用于医学 DICOM 数据图像处理,同时也适用于其他图像。其他用法参阅文献[1]~[12]。

2 DICOM 数据格式及其 IDL 实现

DICOM 数据文件的标准数据格式是由两部分组成:元信息(meta information)和数据集(data set)组成。其中元信息包含了 12 个方面的属性;数据集由多个固定格式(Tag, VR, VL, VF)的数据元素,按照一定的顺序排列组成。其中:Tag 是区分数据元素的标识,由分组号和元素号组成;分组号表示数据元素属于哪个数据组,元素号用于区分同一组中的不同数据元素。VR 是数据格式描述,表示数据类型和格式。VL 是数据长度。VF 是数据的值。使用最新的第 4 代交互数据语言 IDL6.3 的函数 READ_DICOM 和类 IDLffDICOM 与 IDLffDicomEx 可以方便的读写 DICOM 数据文件。

3 空域和频域增强算法

空域增强算法的基本原理是在图像的像素空间中,利用指定的变换,以图像的单个像素或者 1 组像素(模板)作为处理对象直接对像素进行变换,从而得到增强后的各个像素的值;最后得到增强后的图像。算法分为像素增强算法和模板增强算法。

像素增强算法:对于图像 $I_{m \times n}$ 的像素 $I_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$), 利用变换 f_{pixel} 进行增强处理,增强后的图像 $E_{m \times n} = \{E_{i,j}\}$ 为 ($I_{i,j}, g_{\text{max}}$ 和 g_{min} 表示像素值、最大和最小灰度):

$$E_{i,j} = f_{\text{pixel}}(I_{i,j})$$

图像拉伸增强:即把图像的灰度由 g_{min} 到 g_{max} 拉伸到 0 到 255, 即

$$E_{i,j} = 255(I_{i,j} - g_{\text{min}})/(g_{\text{max}} - g_{\text{min}})$$

图像局部增强:即把图像灰度范围从 g_{min} 到 s_1 、从 s_1 到 $(t_1(s_2 - s_1) - s_1(t_2 - t_1))/((s_2 - s_1) - (t_2 - t_1))$ 的灰度值进行降低处理;把灰度范围从 $(t_1(s_2 - s_1) - s_1(t_2 - t_1))/((s_2 - s_1) - (t_2 - t_1))$ 到 s_2 、从 s_2 到 g_{max} 的灰度值进行增强处理。即

$$E_{i,j} = \begin{cases} \frac{t_1 - g_{\text{min}}}{s_1 - g_{\text{min}}}(I_{i,j} - g_{\text{min}}) + g_{\text{min}} & g_{\text{min}} \leq I_{i,j} < s_1 \\ \frac{t_2 - t_1}{s_2 - s_1}(I_{i,j} - s_1) + t_1 & s_1 \leq I_{i,j} < s_2 \\ \frac{t_2 - g_{\text{max}}}{s_2 - g_{\text{max}}}(I_{i,j} - g_{\text{max}}) + g_{\text{max}} & s_2 \leq I_{i,j} < g_{\text{max}} \end{cases}$$

式中, $g_{\text{min}} < s_1 < s_2 < g_{\text{max}}, g_{\text{min}} < t_1 < t_2 < g_{\text{max}}, s_1 > t_1, s_2 < t_2$ 。

模板增强算法(空域滤波):使用指定模板,以图像的一组相邻像素作为处理对象,利用卷积直接对该组像素进行计算,并把计算结果赋值给与模板中心相对应的像素,从而得到增强后各个像素的值;最后得到增强后的图像。具体步骤如下:

- (1) 将模板在图像中漫游,并将模板中心与图像的一组相邻像素的中心重合;
- (2) 将模板的各个系数与图像的相对应像素相乘,然后所有乘积求和(即卷积);
- (3) 将和值赋值给图像中对应模板中心的像素。

频域增强算法(频域滤波):利用傅里叶变换和卷积理论实现增强。具体步骤如下:

- (1) 对图像的像素值 $I_{i,j}$ 进行傅里叶变换,得到变换后的频域图像值 $I_{u,v}$;
- (2) 把 $I_{u,v}$ 与转换函数 $H_{u,v}$ 相乘(转换函数可以根据需要设计);
- (3) 对相乘结果进行反傅里叶变换;得到增强图像 $E_{i,j} = F^{-1}(H_{u,v} * I_{u,v})$

医用窗宽窗位增强算法:窗宽窗位变换(CT (computerized tomography) 或 MRI (magnetic resonance imaging) 的原始值 $I_{i,j}$ 、窗宽 w 和窗位 wc):

$$E_{i,j} = \begin{cases} 255 & I_{i,j} > top \\ \frac{255(I_{i,j} - bot)}{ww} & I_{i,j} \in [bot, top] \\ 0 & I_{i,j} < bot \end{cases}$$

式中, $top = wc + ww/2$, $bot = wc - ww/2$

窗宽窗位变换广泛应用于医学辅助诊断, 已成为医生诊断的必备工具。其工作原理是通过给定的窗宽和窗位, 利用窗宽窗位变换把大于窗口上边缘的 CT 或者 MRI 的值变换为 255, 把小于窗口下边缘的 CT 或者 MRI 的值变换为 0, 把二者之间的 CT 或者 MRI 的值变换为 0 到 255 之间的值。

4 DICOM 数据的动态边界检测与实现

动态边界检测算法具有拉伸增强、局部增强、窗

$$\mu_{\hat{A}}(x) = LGFO(\mu_A(x)) = \begin{cases} -\frac{r-2t}{r+2t}\mu(x) + \frac{4t}{r+2t} & -1 \leq \mu(x) < -\frac{1}{2}(r+1) + \frac{t}{r} - t \\ -\frac{r+2t}{r-2t}\mu(x) - \frac{4rt}{r-2t} & -\frac{1}{2}(r+1) + \frac{t}{r} - t \leq \mu(x) < -\frac{1}{2}r - t \\ -\frac{r-2t}{r+2t}\mu(x) & -\frac{1}{2}r - t \leq \mu(x) < 0 \\ \frac{r-2t}{r+2t}\mu(x) & 0 \leq \mu(x) < \frac{1}{2}r + t \\ \frac{r+2t}{r-2t}\mu(x) - \frac{4rt}{r-2t} & \frac{1}{2}r + t \leq \mu(x) < \frac{1}{2}(r+1) - \frac{t}{r} + t \\ \frac{r-2t}{r+2t}\mu(x) + \frac{4t}{r+2t} & \frac{1}{2}(r+1) - \frac{t}{r} + t \leq \mu(x) \leq 1 \end{cases}$$

式中, $r \in (0, 1)$, $t \in (0, r/2)$ 为可调参数。

根据定义 3 不难证明 LGFO 是连续线性算子; 而且当 $-1 \leq \mu_A(x) \leq 0$ 或者 $r \leq \mu_A(x) \leq 1$ 时, 图像得到增强; 同时当 $0 \leq \mu_A(x) \leq r$ 时, 图像得到减弱。因此 LGFO 可以增强图像。该算子的检测效果和算法复杂度方面均优于文献 [3] ~ [10]。文献 [8] 的算法是本文算法在 $t = r/4$ 时的特例。本文算法是文献 [5] 的线性逼近。

定义 4 广义隶属变换: 图像空间 $I = \{x_{i,j}\}$ ($x_{i,j} \in \{0, 1, \dots, L\}$) 到广义模糊空间 $P = \{p_{i,j}\} \in [-1, 1]$ 的广义隶属变换定义为

$$p_{i,j} = LT(x_{i,j}) = \frac{x_{i,j} - w}{x_{\max} - w}$$

式中, $0 < w \leq (x_{\max} - x_{\min})/2$ 为可调参数, x_{\max} 和 x_{\min} 分别为像素的最大值和最小值。

宽窗位增强和频域增强的混合处理功能, 因此, 利用本文算法在进行动态边界检测的同时, 可以灵活地提取多种信息, 使得对病灶的诊断更加灵活、方便、准确。

4.1 广义模糊增强

定义 1 论域 U 上的模糊集 A 可以用 U 上的隶属函数 $\mu_A(u) : U \rightarrow [0, 1]$ 表示, 其中 $\mu_A(u)$ 表示元素 u 隶属于 A 的程度。模糊集 A 记为 $\mu_A(u)$ 。

定义 2 论域 U 上的广义模糊集 A 可以用 U 上的广义隶属函数 $\mu_{GA}(u) : U \rightarrow [-1, 1]$ 表示, 其中 $\mu_{GA}(u) \in [-1, 0]$ 称为 U 上 u 完全不属于 A 的隶属度; $\mu_{GA}(u) \in (0, 1)$ 称为 U 上 u 完全属于 A 的隶属度; $\mu_{GA}(u) = 0$ 称为 U 上 A 的模糊分界点。广义模糊集 A 记为 $\mu_{GA}(u)$ 。

定义 3 线性广义模糊算子 (LGFO) 是指作用于广义模糊集 A 后, 产生模糊集 \hat{A} 的线性算子, 即

$$\begin{cases} -1 \leq \mu(x) < -\frac{1}{2}(r+1) + \frac{t}{r} - t \\ -\frac{1}{2}(r+1) + \frac{t}{r} - t \leq \mu(x) < -\frac{1}{2}r - t \\ -\frac{1}{2}r - t \leq \mu(x) < 0 \\ 0 \leq \mu(x) < \frac{1}{2}r + t \\ \frac{1}{2}r + t \leq \mu(x) < \frac{1}{2}(r+1) - \frac{t}{r} + t \\ \frac{1}{2}(r+1) - \frac{t}{r} + t \leq \mu(x) \leq 1 \end{cases}$$

4.2 动态边界检测算法

动态边界检测算法步骤如下:

(1) 读取 DICOM 图像。使用 IDL6.3 的函数 READ_DICOM 和类 IDLffDICOM 与 IDLffDicomEx 读写 DICOM 图像文件。

(2) 窗宽窗位变换。使用窗宽窗位变换对 DICOM 数据进行拉伸处理。

(3) 利用广义隶属变换 $LT(x_{i,j})$, 把灰度图像 $I = \{x_{i,j}\}$ 变换到广义模糊集 $P = \{p_{i,j}\}$ 。

(4) 利用 LGFO, 把广义模糊集 $P = \{p_{i,j}\}$ 变换到模糊集 $\hat{P} = \{\hat{p}_{i,j}\} \in [0, 1]$ 。

(5) 利用如下逆变换, 把模糊集 $\hat{P} = \{\hat{p}_{i,j}\}$ 变换成增强图像 $\hat{I} = \{\hat{x}_{i,j}\}$ ($\hat{x}_{i,j} \in \{0, 1, \dots, L\}$)。

$$\begin{aligned} \hat{x}_{i,j} &= RLT(\hat{p}_{i,j}) = LT^{-1}(\hat{p}_{i,j}) \\ &= \hat{p}_{i,j}(x_{\max} - M) + M \end{aligned}$$

(6) 图像的边缘检测。通过调整参数 w, r 和 t 后, 转向步骤(2)进行迭代操作, 直到相邻两次迭代结果的差值满足给定的精度, 或者满足实际需要, 输出图像的边界。

图像动态边界检测算法的流程图如图 1 所示:

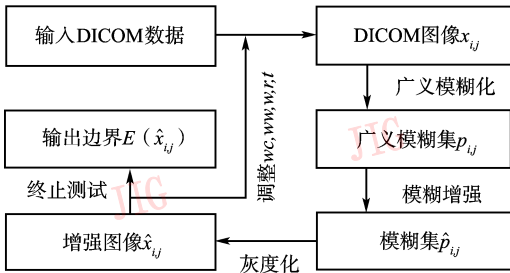


图 1 DICOM 数据动态边界检测算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart of dynamic edge detection

4.3 动态边界检测算法的可行性分析

由于给出的动态边界检测算法是基于拉伸增强、局部增强、窗宽窗位增强和频域增强多种算法思想的优点, 而进行的综合改进, 因此, 利用本文算法在进行动态边界检测的同时, 可以灵活的提取多种信息, 通过大量试验和表 1 的性能对比, 不难证明该算法是可行和有效的。

动态边界检测算法与其他算法的性能指标对比如表 1 所示:

表 1 动态边界检测算法性能指标

Tab. 1 Capability index of dynamic edge detection

算法	Pal ^[3,4]	陈武凡 ^[5]	王晖 ^[6,7]	本文算法
算法复杂度	$O(x^{5/2})$	$O(x^{5/2})$	$O(x^{5/2})$	$O(x)$
算法速度(s) *	30.658	20.586	10.262	1.8379
动态边界	否	否	否	是(r, w, t)
是否线性	非线性	非线性	非线性	双线性
连续性要求	是	是	是	否(连续)
信息损失	损失	损失	损失	无损
参数 r 的约束	有	有	有	无
支持窗宽窗位	否	否	否	是

* 测试图像: 512 × 512 × 366 幅 DICOM3.0; 软件: IDL6.3; 硬件: SONY-SZ32CP / P1.66G (双核) / 768M/128M/80G。

4.4 动态边界检测实例

利用本文算法对图 2(a) 中的原始 DICOM 图像进行动态对比度增强和动态边界检测, 各个参数的选取如图 2(c) ~ 图 2(f) 所示。其中, 图 2(a) 为原始标准测试图, 图 2(b) 为 Pal 算子提取的边界; 图 2(c) 为本文给出的 LGFO 在 $wc = 40, ww = 350, r = 0.6, w = 96, t = 0.3$ 时增强图像, 图 2(d) 为 LGFO 在 $wc = 40, ww = 350, r = 0.6, w = 96, t = 0.3$ 时检测的边界; 图 2(e) 为 LGFO 在 $wc = -156, ww = 1690, r = 0.5, w = 120, t = 0.2$ 时增强图像, 图 2(f) 为 LGFO 在 $wc = -156, ww = 1690, r = 0.5, w = 120, t = 0.2$ 时检测的边界。

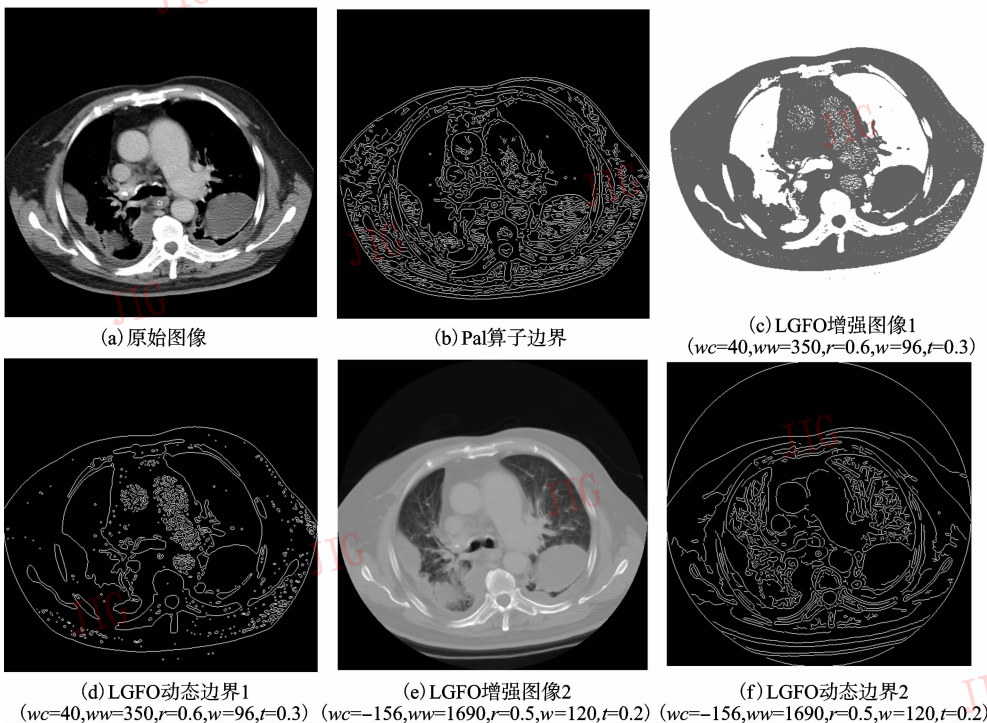


图 2 动态边界检测实例

Fig. 2 Sample of dynamic edge detection

5 彩色图像的动态边界检测

利用动态 $K-L$ 变换^[9], 本文算法适用于彩色图像。动态 $K-L$ 变换:

$$W_1 = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} \quad W_2 = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} \\ 0 \\ -\frac{1}{2} \end{pmatrix} \quad W_3 = \begin{pmatrix} -\frac{1}{4} \\ \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

采用下面的变换把彩色图像的 3 原色 R 、 G 、 B 变成相互正交的彩色基 I^1 、 I^2 、 I^3 :

$$I^1 = W_1 \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \frac{1}{3}(R + G + B)$$

$$I^2 = W_2 \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \frac{1}{2}(R - B)$$

$$I^3 = W_3 \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \frac{1}{4}(2G - R - B)$$

由于单色图像 I^1 基本包含了原图像的特征信息, 所以只需处理 I^1 即可满足实际需要。对于特殊需要, 则可用 I^2 或 I^3 给予补偿处理, 会得到更好的效果。

彩色图像的动态边界检测模型如图 3 所示:

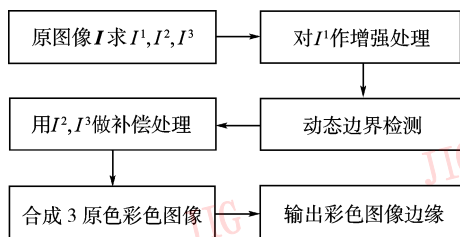


图 3 彩色图像的动态边界检测

Fig. 3 Dynamic edge detection of RGB image

6 结 论

本文在总结和 research 图像增强算法和边界检测算法的基础上, 利用广义模糊集理论, 给出了一种医用动态图像增强和动态边界检测算法。利用该算法可以动态提取图像的多种边界。即利用该算法既可以忽略细节提取图像的粗略边界, 也可以增强细节提取图像的细节边界。文献[5]和文献[8]是本文算法在的特例。最后给出了彩色图像动态边界检测方法。

本文算法的优点是图像处理过程的所有变换均为线性变换; 其高频和低频信息均是无损的, 并可以无损恢复; 同时通过调整参数 w_c 、 w_w 、 r 、 t 和 w 的值, 可以提取更详细的边界信息或者忽略没有用的边界信息, 从而满足医学 DICOM 数据图像处理的需要, 同时, 对参数 r 的选取没有其他算法的任何限制, 从而为 PACS 系统提供了一种新的动态图像增强和动态边界检测方法。

参考文献 (References)

- Zadeh L A. Fuzzy sets [J]. Information and Control, 1965, 8(3): 338 ~ 353.
- Peng Zu-zeng, Sun Yun-yu. Fuzzy Mathematics and Its Application [M], First edition, Wuhan: Wuhan University Press, 2002. [彭祖增, 孙毓玉. 模糊数学及其应用[M], 第 1 版, 武汉: 武汉大学出版社, 2002.]
- Pal S K, King R A. On edge detection of X-ray images using fuzzy sets [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, 5(1): 69 ~ 77.
- Pal S K, King R A. Image enhancement using smoothing with fuzzy sets [J], IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 1981, 11(7): 494 ~ 501.
- Chen Wu-fan, Lu Xian-qing, Chen Jian-jun, et al. The new algorithm of color image edge detection [J]. Science in China (Series A), 1995, 25(2): 219 ~ 225. [陈武凡, 鲁贤庆, 陈建军等. 彩色图像边缘检测的新算法[J]. 中国科学(A 辑), 1995, 25(2): 219 ~ 225.]
- Wang Hui, Zhang Ji-hong. An algorithm of edge detection based on fuzzy enhancement of contrast among successive regions [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(1): 45 ~ 47. [王晖, 张基宏. 图象边界检测的区域对比度模糊增强算法[J]. 电子学报, 2000, 28(1): 45 ~ 47.]
- Wang Hui. Fuzzy enhancement of contrast between successive regions and application in edge detection of medical images [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2000, 19(3): 353 ~ 355. [王晖. 区域对比度模糊增强及其在医学图像边界检测中的应用[J]. 中国生物医学工程学报, 2000, 19(3): 353 ~ 355.]
- Han Pei-you. The newest double linear fast algorithm of image fuzzy enhancement edge detection [J]. Computer Science, 2004, 31(6): 199 ~ 201. [韩培友. 双线性快速模糊增强图像边界检测最新算法[J]. 计算机科学, 2004, 31(6): 199 ~ 201.]
- Ohta Y, Kanade T, Sakai T. Color information for region segmentation [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(3): 222 ~ 241.
- Ma Wei-ying, Manjunath B S. Edge flow: a technique for boundary detection and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(8): 1375 ~ 1388.
- Luo Shu-qian, Zhou Guo-hong. Image processing and analysis in medical [M], Beijing: Science Press, 2003. [罗述谦, 周果宏. 医学图像处理与分析[M], 北京: 科学出版社, 2003.]
- Zhang Yu-Jin. Image Segmentation [M], Beijing: Science Press, 2001. [章毓晋, 图象分割[M], 第 1 版, 北京: 科学出版社, 2001.]