

一种基于新插值方法的图像旋转算法

康牧 凌凤彩

(洛阳师范学院信息技术学院 洛阳 471022)

摘要 图像旋转算法采用的插值方法存在不足,容易出现“锯齿”形边缘和模糊的现象,改变了图像的表达模型,为此提出了平面插值和球面插值相结合的图像插值方法,从而避免了传统的插值方法用统一的模型逼近所有像素的不足,它对不同的情况采用不同的插值方法。理论分析和实验结果表明了该方法的有效性。

关键词 图像插值,双线性插值,平面插值,球面插值,图像旋转

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Algorithm of Image Rotation Based on New Interpolation Method

KANG Mu LING Feng-cai

(Academy of Information Technology, Luoyang Normal University, Luoyang 471022, China)

Abstract Rotation algorithm for image interpolation methods has some shortcoming. It often can make the image blur or have saw-tooth shaped edges phenomenon. This paper changed the model of expressing image. A image interpolation method combining plane interpolation and spherical interpolation was proposed. It avoids the traditional interpolation uses unified model to approximate all pixels. In different circumstances it will use different interpolation methods. Finally, the theoretical analysis and experimental results show the effectiveness of the method.

Keywords Image interpolation, Bilinear interpolation, Plane interpolation, Spherical interpolation, Image rotation

1 引言

在数字图像处理中,图像旋转是一种最基本、最常用的几何运算^[1],它需要对图像进行插值,图像插值的过程是在一个可得的低分辨率图像中,利用已知像素值估计出中间像素值的过程^[2]。图像插值过程是对一个图像数据的建模过程,一般分为两步:首先选择一种模型逼近源图像,再用所期望的采样率对该连续模型重新采样。传统的插值方法有:最近邻插值法、双线性插值法、双三次卷积法^[3]、双三次插值法^[4]、双三线性插值法^[2]、二元 Newton-Thiele 型向量有理插值曲面法^[5]、B 样条插值法^[6]、有理样条插值法、双三次插值有理样条法、曲面拟合插值法^[7]、线性空间移变技术插值法^[8]、边缘保护插值法^[9]、区域方向自适应插值法^[10]、扇形滤波器插值法^[11]、向量分类法^[12]、边缘自适应插值法^[13]、无级平滑法^[14]、梯度角约束插值法^[15]、偏微分方程法^[16,17]、基于模糊理论的方法^[18]、四元数插值法^[19]、内容自适应插值法^[20]等。图像旋转广泛应用于现实生活中,在军事上图像插值也有重要的应用,轰炸机确定轰炸目标,导弹制导等都要根据卫星或侦察机拍摄的航空图像与轰炸机或导弹制导部分拍摄的图像进行匹配以决定目标,而卫星或侦察机拍摄的图像往往与轰炸机或导弹制导部分所拍摄的图像在焦距和拍摄角度上不同,会影响轰炸机或导弹命中目标的概率。现在包括美国在内的许多军事上先进的国家,它们的轰炸机在执行轰炸任务时往往采用的是多次拍照,然后再进行轰炸,在 2011 年以美

国为首的北约组织在对利比亚的军事目标进行轰炸时,可以从电视上看到它们多次调整拍摄角度拍照,然后才进行轰炸,调整拍摄角度所需要的时间肯定比计算机处理一幅图像所需要的时间长,如果设计出合理的图像旋转方法,就可以不必多次调整角度进行拍摄,而利用计算机对拍摄到的图像通过插值进行旋转来确定目标,既可以提高命中率又可以减少飞行员的危险性。通常,图像插值方法是用一个基函数或插值核来逼近、刻画源图像。常用的插值核包括线性插值核、样条插值核、Lanczos 插值核等。最近邻插值法取离它最近的像素点的像素值作为待插入点的像素值,该方法最简单,但是效果也最差,容易产生“锯齿”形边缘和“马赛克”现象;双线性插值法利用待插入点周围的 4 个已经存在的像素点的像素值,根据它们离待插入点距离的远近,给予不同的权值,效果比最近邻法要好很多,但它没有考虑周围 4 个像素的空间关系,在图像的边缘部分会产生细小的“锯齿”形边缘;双三线性插值法是在双线性插值法的基础上把要参考的像素数由 4 个扩展为 16 个,效果有所改善和提高,但运算量显然要提高很多,且也会使图像产生细微的模糊现象;二元 Newton-Thiele 型向量有理插值曲面法、双三次插值有理样条法和曲面拟合插值法等都是用统一的模型、统一的函数或统一的插值核进行插值,与双线性和双三线性插值法一样都没有考虑周围像素之间的空间关系,它们的插值核可以达到一次可微或二次可微,却从没有考虑过待插入点像素本身与周围 4 个像素的空间关系,虽说插值效果取得了一些进展,但都存在一定的不足之处。

到稿日期:2012-07-17 返修日期:2012-11-13 本文受河南省科技厅科技攻关项目(112102210445)资助。

康牧(1968—),男,博士,副教授,主要研究方向为智能信息处理与模式识别,E-mail:kmuwd@sina.com。

到目前为止,国内外学者还没有发现和研究出图像的原始插值模型,只能用一个基函数或插值核来逼近、刻画源图像,从而不可能得到合理的图像插值方法,也就无法满足高质量图像处理的需求。

2 图像旋转的几何原理

图像旋转一般是以图像的中心为原点进行旋转。在图 1 所示的坐标系 A 中,以图像的中心为原点 O,向右为 x 轴正方向,向下为 y 轴正方向,点 $p_0(x_0, y_0)$ 逆时针旋转 α 角度后坐标变换为 $p(x, y)$ 。设 r 为点 $p_0(x_0, y_0)$ 到原点 $(0, 0)$ 的距离,在旋转过程中, r 保持不变, β 为 r 与 x 轴之间的角度,则有:

$$\begin{cases} x_0 = r \cos \beta \\ y_0 = r \sin \beta \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = r \cos(\beta - \alpha) = r \cos \beta \cos \alpha + r \sin \beta \sin \alpha = x_0 \cos \alpha + y_0 \sin \alpha \\ y = r \sin(\beta - \alpha) = r \sin \beta \cos \alpha - r \cos \beta \sin \alpha = -x_0 \sin \alpha + y_0 \cos \alpha \end{cases} \quad (2)$$

写成矩阵的表达形式为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其逆运算为:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4)$$

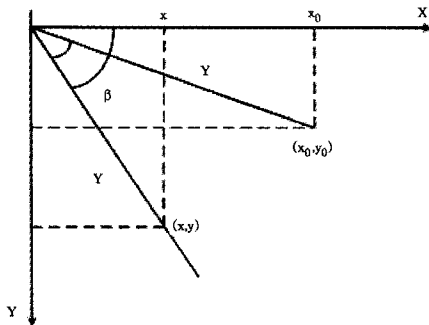


图 1 旋转示意图

3 最近邻插值算法和双线性插值算法

最近邻法是一种最简单的插值方法,它通过计算待插入点 (x_0, y_0) 邻近的 4 个点,将与点 (x_0, y_0) 最近的整数坐标点的像素值作为点 (x_0, y_0) 处的像素值。

双线性法的原理是:当求出的分数地址与像素点不一致时,求出周围 4 个像素点的距离比例,根据该比例,由 4 个邻域的像素值进行双线性插值,如图 2 所示。

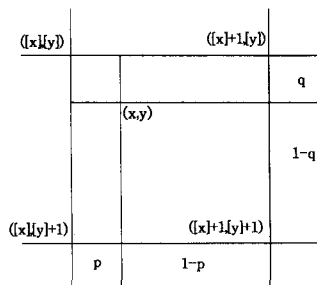


图 2 双线性插值法示意图

简化后的像素值计算式如式(5):

$$g(x, y) = (1 - q) \{ (1 - p) \times g([x], [y]) + p \times g([x] + 1, [y]) \} + q \{ (1 - p) \times g([x], [y] + 1) + p \times g([x] + 1, [y] + 1) \} \quad (5)$$

式中, $g(x, y)$ 表示坐标为 (x, y) 处的像素值, $[x]$ 、 $[y]$ 分别为不大于 x, y 的整数。

4 新算法的提出

改变图像中表示像素的模型,现有的表示图像的方法是用二维矩阵来表示图像在某行、某列处的像素值,本文中对一个像素用如下模型来表示 $(i, j, f(i, j))$,其中, i 表示像素所在的行, j 表示像素所在的列, $f(i, j)$ 表示该像素的像素值,这样把一个像素对应到空间坐标系中的一个点 (x, y, z) ,其中 x 对应 i, y 对应 j, z 对应 $f(i, j)$ 。

待插入点周围 4 个点的坐标通过平移可以使它们变为: $s_0(0, 0, z_0), s_1(0, 1, z_1), s_2(1, 0, z_2), s_3(1, 1, z_3)$ 。这 4 个点只有两种可能的空间位置关系:平面关系和球面关系。

(I) 当 $z_2 + z_1 - z_3 - z_0 = 0$ 时,以点 $s_0(0, 0, z_0)$ 和 $s_3(1, 1, z_3)$ 为端点的线段的中点坐标为: $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{z_0 + z_3}{2})$; 以点 $s_1(0, 1, z_1)$ 和 $s_2(1, 0, z_2)$ 为端点的线段的中点坐标为: $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{z_1 + z_2}{2})$ 。

因为 $z_2 + z_1 - z_3 - z_0 = 0$, 所以 $z_2 + z_1 = z_3 + z_0$ 。显然两条线段的中点坐标相同,也就是说它们相交,而相交的两条直线必定在同一平面内。

(II) 当 $z_2 + z_1 - z_3 - z_0 \neq 0$ 时,点 $s_0(0, 0, z_0), s_1(0, 1, z_1), s_2(1, 0, z_2), s_3(1, 1, z_3)$ 在同一球面上,当且仅当这 4 个点同时满足同一球面方程。将点 $s_0(0, 0, z_0), s_1(0, 1, z_1), s_2(1, 0, z_2), s_3(1, 1, z_3)$ 分别代入球心坐标为 (X, Y, Z) 、半径为 r 的球面方程得到:

$$\begin{cases} X^2 + Y^2 + (z_0 - Z)^2 = r^2 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} X^2 + (1 - Y)^2 + (z_1 - Z)^2 = r^2 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} (1 - X)^2 + Y^2 + (z_2 - Z)^2 = r^2 \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} (1 - X)^2 + (1 - Y)^2 + (z_3 - Z)^2 = r^2 \end{cases} \quad (9)$$

式(7)-式(6)、式(8)-式(6)、式(9)-式(6)可分别得式(10)-式(12):

$$\begin{cases} z_1^2 - z_0^2 - 2Y + 1 - 2Z(z_1 - z_0) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} z_2^2 - z_0^2 - 2X + 1 - 2Z(z_2 - z_0) = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} z_3^2 - z_0^2 - 2X - 2Y + 2 - 2Z(z_3 - z_0) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

由式(10)得:

$$Y = \frac{z_1^2 - z_0^2 + 1 - 2Z(z_1 - z_0)}{2} \quad (13)$$

由式(11)得:

$$X = \frac{z_2^2 - z_0^2 + 1 - 2Z(z_2 - z_0)}{2} \quad (14)$$

将式(13)、式(14)代入式(12)得:

$$z_3^2 + z_0^2 - z_1^2 - z_2^2 + 2Z(z_2 + z_1 - z_3 - z_0) = 0 \quad (15)$$

因为: $z_2 + z_1 - z_3 - z_0 \neq 0$, 所以:

$$Z = \frac{z_3^2 + z_0^2 - z_1^2 - z_2^2}{2(z_3 + z_0 - z_2 - z_1)} \quad (16)$$

将式(16)代入式(10)可得到 Y , 代入式(11)可得到 X ; 将

X、Y、Z代入式(6)可求出 r ,也就是说可以求出球心坐标(X, Y, Z)和球面的半径 r ,说明这4个点在同一球面上。

对每个待插入点,判断它周围4个点的空间位置关系,如果这4个点在同一平面上,则按平面插值,否则按球面插值。

5 各插值算法实时性分析与比较

从实时性方面看,最近邻算法的实时性效果最好,它只需要将待插入点的 x, y 坐标值加上0.5再取整,就可得到整数的坐标点,将该点的像素值作为待插入点的像素值即可,速度最快;双线性法插入一个像素点需要6次乘法、10次加法,速度比最近邻法要慢许多;文中方法如果是平面法则最多需要3次乘法、3次加法,而球面法则需要4次乘法、3次加法(注:把平方、开方运算当作乘法,且没有考虑求平面方程及球面方程的运算量,因为在同一区域内的平面方程和球面方程只需要求一次,如果把它们考虑在内运算量会有所增加,就总体而言运算量要比双线性法大)。

从图像处理的效果看,最近邻法最差,双线性法效果要比最近邻法好许多,但也会使图像产生细微的模糊现象,文中方法的处理效果最好。

6 实验结果及分析

用大量的图片对本文所提出的算法进行了实验,结果表明有较好的效果。现对Lena原图像利用最近邻插值法、双线性法、文中方法分别做图像旋转实验(注:旋转角度为 43° ,当为其它角度时效果一样,限于篇幅,只列出一种角度),实验结果如图3所示。

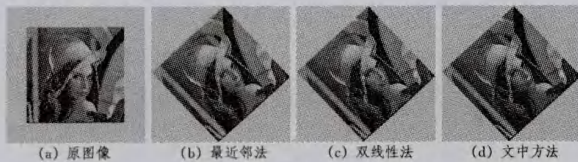


图3 实验结果

由于篇幅问题,图片的尺寸不能太大,故效果看得不很明显,所以把旋转后的各图片中的脸部下方及肩部的内容截取出来加以放大,结果如图4所示。



图4 各图片部分内容的放大结果

说明:从图3可以看出,将原图像平移后绕中心逆时针旋转 43° ,3种插值方法得到的结果图像的整体效果,从图4各图片部分内容的放大结果,可以更清楚地看到3种插值方法效果的不同,从最近邻法的结果看,原图像下面的边缘即旋转后右下部的斜线明显出现了“锯齿”形边缘,且其它地方的“毛刺”现象也比较严重;双线性法右下部的斜线没有出现“锯齿”形边缘,但在人物的“脸部”、“肩部”和“头发”等地方仍有细小的“毛刺”现象,总体效果比最近邻法要好得多,文中方法是用平面插值和球面插值相结合的方法,效果比双线性法好

得多,比较理想。

由实验结果可知最近邻法算法简单,在要求不很高时可以使用,双线性法的效果比最近邻法要好得多,只是存在细小的“毛刺”现象,还不够理想,文中方法效果比较理想,这主要是改变了图像表示模型,利用平面插值和球面插值相结合的方法进行插值,针对不同的情况运用不同的插值方法,避免了用同一个模型进行逼近的不足,由于算法设计合理,从而必然可以得到理想的结果。

结束语 本文从避免图像旋转时容易产生锯齿形边缘的现象入手,分析了最近邻法和双线性法存在的不足,改变了图像表示的模型,提出了平面插值和球面插值相结合的方法。该算法从根本上避免了用同一种模型逼近所有像素的不足,有选择地对待不同的像素,实验结果和理论分析说明了文中方法的有效性。

参考文献

- [1] 何东健,耿楠,张义宽,等. 数字图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003:115-120
- [2] 袁凤刚,刘建成. 不同插值方法实现数字图像旋转研究[J]. 软件导刊,2010,9(4):17-19
- [3] 李弼程,彭天强,彭波,等. 智能图像处理技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004:118-120
- [4] 徐彤阳,方勇. 基于Contourlet变换的双三次插值算法[J]. 计算机工程,2010,36(7):20-22
- [5] 胡敏,檀结庆,刘晓平,等. 用二元向量有理插值实现彩色图像缩放的方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2004,16(11):1496-1500
- [6] 吴均,朱重光. 带锐度保持的斜投影B-样条图像缩放[J]. 遥感学报,2002,6(2):108-112
- [7] 王强,檀结庆,胡敏. 基于有理样条的图像缩放算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(10):1348-1351
- [8] 赖睿,杨银堂. 一种保持图像细节的线性空间移变插值新方法[J]. 光电子·激光,2009,20(2):257-259
- [9] Ma She-xiang, Liu Tie-gen, Jiang Jun-feng. Images interpolation based on edges preserving using dyadic wavelet[J]. Journal of Opto electronics Laser,2005,16(7):871-875
- [10] Fu Xiang, Guo Bao-long. Area directed adaptive image interpolation algorithm[J]. Journal of Optoelectronics Laser,2008,19(2):233-236
- [11] Talib M A, Ibrahim T, Tauseefur Rehman S. Slope hold image interpolation using fan filters[A]// IEEEConf Emerging Technologies[C]. Islamabad; IEEE,2005:18-20
- [12] Hong Sung-ho, Park R-H. Image Interpolation Using Interpolative Classified Vector Quantization[J]. Image and Vision Computing,2008,26(2):228-239
- [13] Mori T, Kameyama K, Ohmiya Y. Image Resolution Conversion Based on an Edge-adaptive Interpolation Kernel[C]// Proc. of IEEE PacRim Conference on Communications, Computers and Signal Processing. Victoria, USA; IEEE Press,2007:497-500
- [14] 陈忠,赵忠明. 图像无级平滑缩放算法研究[J]. 光电子·激光,2006,17(3):361-363
- [15] 詹毅,王明辉,李梦. 梯度角约束图像插值[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(6):770-776
- [16] Belahmid A, Guichard F. A partial differential equation ap-

proach to image zoom [C]//Proceedings of the 2004 International Conference on Image Processing. Singapore, 2004, 1, 649-652

- [17] van Ouwkerk J D. Image super-resolution survey [J]. Image and Vision Computing, 2006, 24(10): 1039-1052
- [18] 徐艳, 董江涛, 王少华. 基于模糊隶属度的图像空间距离修正插

值算法[J]. 物理学报, 2010, 59(11): 7535-7539

- [19] 苏本跃, 盛敏. 彩色图像缩放的元数据插值算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(12): 2067-2070
- [20] Zhao M, de Haan G. Content-adaptive video up scaling [C]// Proceedings of Application Specific Integrated Circuit. [S. l.]: IEEE, 2003: 151-156

(上接第 290 页)

从表 2 的结果上看,文中方法总体上都取得了较小的 ME 值、较大的 MSSIM 值,表明其获得了较好的图像阈值化结果,更接近于标准参考图像,文中方法可行有效。从 ME 和 MSSIM 值的比较看,文中方法也与 Kittler 方法近似较优。从 FPR 和 FNR 值的比较看,这些方法有细微差别:相比 Kittler 方法,文中方法与 Otsu 方法和 Kapur 方法都获得了较小的 FPR 值, Kittler 方法则获得了相对较小的 FNR 值,这就表明文中方法(包括 Otsu 方法和 Kapur 方法)更易造成图像欠分割,反之, Kittler 方法常导致过分割。该结果与前文定性分析也是吻合的。总体上,文中方法可作为上述经典方法的有效补充。

结束语 现有图像过渡区提取与分割方法未能顾及不确定性等问题,可能导致无效的过渡区及阈值化结果。为此,本文引入云模型方法,利用逆向云算法建立图像的不确定性表示与分析,设计了能自动确定过渡区大致范围的新准则,通过最小化该准则获取过渡区的最优云模型,不确定性地判定像素归属,最终产生图像二值化结果。为了验证过渡区提取与分割的逆向云方法是否有效,展开了两组实验。与相关方法的过渡区提取实验表明,文中方法能高效地获得可接受的过渡区;与经典方法的图像阈值化实验及定性定量的分析结果表明,文中方法能获得较高的分割质量,性能稳定,可作为经典方法的有效补充。总之,图像不确定性分割是该领域值得关注的热点和难点之一,云模型已经逐渐被国内外同行公认,基于云模型的图像分析和理解方兴未艾,实际工程应用任重而道远,可望为不确定性图像处理提供新的学科增长点。

参 考 文 献

- [1] Snyder W E, Qi H. Machine Vision [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004
- [2] Sezgin M, Sankur B. Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(1): 146-165
- [3] Martin A, Laanaya H, Arnold-Bos A. Evaluation for uncertain image classification and segmentation [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(11): 1987-1995
- [4] Bustince H, Pagola M, Jurio A, et al. A Survey of Applications of the Extensions of Fuzzy Sets to Image Processing [J]. Bio-Inspired Hybrid Intelligent Systems for Image Analysis and Pattern Recognition (Studies in Computational Intelligence), 2009, 256: 3-32
- [5] Tizhoosh H R. Image thresholding using type II fuzzy sets [J]. Pattern Recognition, 2005, 38(12): 2363-2372
- [6] Vlachos I K, Sergiadis G D. Comment on Image thresholding using type II fuzzy sets [J]. Pattern Recognition, 2008, 41(5): 1810-1811

- [7] 李德毅, 杜鹁. 不确定性人工智能 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005
- [8] 陈昊, 李兵. 云推理方法及其在预测中的应用 [J]. 计算机科学, 2011, 38(7): 209-211
- [9] 殷哲, 曹炬. 带差商信息的云搜索优化算法及其收敛性分析 [J]. 计算机科学, 2012, 39(1): 252-255, 267
- [10] 王佐成, 张飞舟, 薛丽霞. 基于云空间和模糊熵的边缘检测算法 [J]. 计算机科学, 2010, 37(8): 253-256
- [11] 谢磊, 汪林林, 王佐成. 一种基于云模型和数学形态学的边缘检测算法 [J]. 计算机科学, 2008, 35(2): 230-231
- [12] Qin Kun, Xu Kai, Liu Fei-long, et al. Image segmentation based on histogram analysis utilizing the cloud model [J]. Computers & Mathematics with Applications, 2011, 62(7): 2824-2833
- [13] Wu Tao, Qin Kun. Comparative Study of Image Thresholding Using Type-2 Fuzzy Sets and Cloud Model [J]. International Journal of Computational Intelligence Systems, 2010, 3(s1): 61-73
- [14] 章毓晋. 过渡区和图象分割 [J]. 电子学报, 1996, 24(1): 12-17
- [15] 刘锁兰, 杨静宇. 过渡区提取方法综述 [J]. 中国工程科学, 2007, 9(9): 89-96
- [16] 王彦春, 梁德群, 王演. 基于图像模糊熵邻域非一致性的过渡区提取与分割 [J]. 电子学报, 2008, 36(12): 2445-2449
- [17] Yan Cheng-xin, Sang Nong, et al. Local entropy-based transition region extraction and thresholding [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24(16): 2935-2941
- [18] Li Zuo-yong, Liu Chuan-cai, et al. Gray level difference-based transition region extraction and thresholding [J]. Computers & Electrical Engineering, 2009, 35(5): 696-704
- [19] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性 [J]. 中国工程科学, 2004, 6(8): 28-34
- [20] Arora S, Acharya J, Verma A, et al. Multilevel thresholding for image segmentation through a fast statistical recursive algorithm [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(2): 119-125
- [21] Saha P K, Udupa J K. Optimum image thresholding via class uncertainty and region homogeneity [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 7(23): 689-706
- [22] Qiao Yu, Hu Qing-mao, et al. Thresholding based on variance and intensity contrast [J]. Pattern Recognition, 2007, 40(2): 596-608
- [23] Arifina A Z, Asano A. Image segmentation by histogram thresholding using hierarchical cluster analysis [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(13): 1515-1521
- [24] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: From error measurement to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612
- [25] Fawcett T. An introduction to ROC analysis [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(8): 861-874