

基于行间留白的文档图像校正方法

罗晓萍

(安徽师范大学 数学计算机科学学院, 安徽 芜湖 241003)

摘 要: 基于 2D 图像处理的文档图像校正技术通常先进行单词或字符分割, 会导致算法复杂、耗时。针对该问题, 提出一种改进的校正算法。运用向上优先区域生长法搜索行间留白, 实现行间分割得到弯曲行图像。对弯曲行图像采用改进二遍扫描法标记字符四连通区域获得行基点, 对行基点使用最小二乘法拟合三次多项式, 并将多项式曲线拉直拼接出全图。OCR 应用和对比实验结果表明, 该算法可提高字符识别率, 并且能得到较好的视觉效果。

关键词: 卷积; 最小二乘多项式拟合; 二遍扫描法; 区域生长法; 图像拉直

中文引用格式: 罗晓萍. 基于行间留白的文档图像校正方法[J]. 计算机工程, 2017, 43(4): 277-280, 286.

英文引用格式: Luo Xiaoping. Document Image Rectification Method Based on Lines Space[J]. Computer Engineering, 2017, 43(4): 277-280, 286.

Document Image Rectification Method Based on Lines Space

LUO Xiaoping

(School of Mathematics and Computer Science, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241003, China)

[Abstract] Focusing on complicated and costly problems caused by segmentation of words or characters in document rectification algorithm based on 2D image processing techniques, this paper proposes an improved rectification algorithm. Firstly, it applies modified region growing method to search lines space, which implements the segmentation between lines and gets warped line images. Then it uses improved two-pass scanning method labels characters 4-connected components on each of curving line images, and uses least-squares to line base points to fit degree three polynomial. Finally, it straightens polynomial curve and stitches a whole image. Experiments on OCR and comparison with other methods show that the proposed algorithm can improve recognition ratio and produce visually pleasing output.

[Key words] convolution; least-squares polynomial fitting; two-pass scanning method; region growing method; image straightening

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2017.04.047

0 概述

由于透视变形、书页较多、页面弯曲等原因, 数码相机拍摄的文字图像常存在扭曲, 影响 OCR、机器视觉、图像融合等方面的应用, 因此需要将扭曲文字图像进行校正。校正技术有 2D 图像处理技术^[1-6]和 3D 文档模型重建^[7-9]。

文献[1]采用基于贝塞尔曲线和 B 样条曲线的活动轮廓模型, 显示 B 样条曲线效果更好。文献[2]首先水平平滑图片, 然后将单词检测出来, 计算单词边线斜率, 最后调整单词位置组合成行。文献[3]检测中文图像的上下边线直线段, 然后分析这

些直线段之间的关系, 排除特殊字符后拉直文字, 效果良好。文献[4]通过连通域搜索切分文字, 然后定位文本行扭曲处并校正。文献[6]首先对二值图像进行膨胀, 通过连通域搜索得到单词及单词所属文本线, 然后利用线性拟合得到单词的较低基线和较高基线进行校正。因为单词间距通常较小且扭曲变形后单词间距有可能更小, 所以要将单词切分出来, 计算代价较高。文献[7]使用四边形将图像中的每个字符包围, 再根据 3D 信息将四边形映射到正确尺寸和位置。该方法需要提前获知页面布局且要求相机光轴垂直于书脊。文献[8]应用可展平面锥面来建模图像文档页, 局限于特定情况。文献[9]应用

基金项目: 安徽师范大学人才培养基金(2011rcpy029)。

作者简介: 罗晓萍(1976—), 女, 讲师、硕士, 主研方向为图像处理、数据库技术。

收稿日期: 2016-03-03 **修回日期:** 2016-05-11 **E-mail:** 95413466@qq.com

SFS(Shape-from-Shading)技术来提取用于3D建模的信息,在文档图像的几何校正方面取得了良好效果,其公式能够方便修改以适应不同的光照条件。

本文对扭曲文档进行分析,首先利用先验条件(文档按行编排且行间有留白)实现文档行分割,其次利用改进的二遍扫描法找到字符连通域获得字符基点,进行3次多项式拟合,最后行拉直拼出全图。本文方法具有以下特点:1)无需切分单词和分析单词位置;2)利用行间留白信息;3)使用改进的连通域标记法。

1 行字符基线拟合

1.1 中英文基线的区别

对于英文印刷文档,为美观、整齐,除了g,j,p,q,y标点符号,其余字符都在一条水平线上。英文大小写及不同字体都有此规律,本文称这条水平线为基线。将行每个字符最底端位置连线称为基线,如图1和图2所示,每个字符最底端像素称为基点。对于一行文字,除了基线以外,还有上边线。没有提取上边线数据作为参考,因为上边突出的字符比较多,有b,d,f,h,i,j,k,l,t,另外从实验得出基线比上边线更明显。对图3所示的英文扭曲文档图像使用矩阵 $L = [0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 0; 0 \ -1 \ 0]$ 进行卷积,得到图4。同样对图5所示的中文扭曲文档图像使用矩阵 L 进行卷积,得到图6。可以看出,图4基线较明显,而中文图像基线不明显,图6中基点稀疏,没有如图4所示有较多且清晰的基点。中文字符的这些特点导致其求基线方法和英文图像不完全相同。

more digital image

being more rob

图1 水平基线

图2 曲线基线

the simplicity of the mapping equation, instead of the general 8-parameter homography, 3D rotation motion models considered, or variable (Szeliski and Shum 1997) associated with each image geometry, which makes this the most

图3 英文扭曲文档图像

the simplicity of the mapping equation, instead of the general 8-parameter homography, 3D rotation motion models considered, or variable (Szeliski and Shum 1997) associated with each image geometry, which makes this the most

图4 卷积运算后的英文文档图像

贾珍夫妻至晚饭后方过荣府来。只见贾赦贾政都在贾母房內坐着说闲话,与贾母取笑。贾母、宝玉、贾环、贾兰皆在地下侍立。贾珍来了,都一一见过。说了两句话后,贾母命坐。贾珍方在进门小机子上告了坐,警身侧坐。贾母笑问道:“这两日你宝兄弟的箭如何了?”贾珍忙起身笑道:“大长进了,不但样式好,而且弓也长了个力气。”贾母道:“这也够了,且别贪力,仔细伤劳。”贾珍忙答应几个“是”。贾母又道:“你昨日送来的月饼好,西瓜看着好,打开却也罢了。”贾珍笑道:“月饼是新做的,一个专做点心的厨子,我试了试果然好,才敢做了孝敬。西瓜往年都还可以,不知今年怎么就不好了。”贾政道:“大约今年雨水太勤之故。”贾母笑道:“此时月已上7,咱们且去上香。”说着,便起身扶着宝玉的肩,带领众人齐往园中来。

图5 中文扭曲文档图像

贾珍夫妻至晚饭后方过荣府来。只见贾赦贾政都在贾母房內坐着说闲话,与贾母取笑。贾母、宝玉、贾环、贾兰皆在地下侍立。贾珍来了,都一一见过。说了两句话后,贾母命坐。贾珍方在进门小机子上告了坐,警身侧坐。贾母笑问道:“这两日你宝兄弟的箭如何了?”贾珍忙起身笑道:“大长进了,不但样式好,而且弓也长了个力气。”贾母道:“这也够了,且别贪力,仔细伤劳。”贾珍忙答应几个“是”。贾母又道:“你昨日送来的月饼好,西瓜看着好,打开却也罢了。”贾珍笑道:“月饼是新做的,一个专做点心的厨子,我试了试果然好,才敢做了孝敬。西瓜往年都还可以,不知今年怎么就不好了。”贾政道:“大约今年雨水太勤之故。”贾母笑道:“此时月已上7,咱们且去上香。”说着,便起身扶着宝玉的肩,带领众人齐往园中来。

图6 卷积运算后的中文文档图像

1.2 改进的快速连通域标记法

改进的快速连通域标记法通过扫描2遍图像,将图像中所有的四连通区域标记出来。以 c 表示被扫描像素, a 表示其上方相邻的像素, b 表示其左边相邻像素。在第1遍扫描中,将 a 和 b 均为背景色的 c 像素置新标记;将 a 是前景色而 b 是背景色的 c 像素置 a 的标记;将 a 为背景色而 b 为前景色的 c 像素置 b 的标记;将 a,b 皆为前景色的 c 像素置 a,b 中较小标记的等同标记,并记录下等同标记供第2遍扫描用。因为扫描过程中同一连通区域内的像素可能被赋予不同标记,所以在赋值时需要将等同标记记录下来。第2遍扫描将每个标记用最小的等同标记来代替。扫描过程和扫描顺序有关,要求扫描按行从左到右顺序进行,因为对于被扫描像素,只考察其上边和左边相邻像素,没有考察右边和下边元素。

令 im 表示输入图像数据矩阵; H,W 表示图像高度和宽度; 1 表示前景色, 0 表示背景色; L 是图像对应标记矩阵,元素从1开始递增; $label$ 是标记,从0开始;数组 P 元素 $p[i]$ 表示标记 i 同区域的较小标记。

第1遍扫描:

1)对于行 $i \leq H$,首先寻找到第一个不为0的元素 $im(i,j)$,若其上边元素为1,则 $L(i,j) = L(i-1,j)$;否则若其左边元素为0,则 $label = label + 1, L(i,j) = label, P(label) = label$ 。

2)对于紧接着的连续不为0的元素 $im(i,j)$,标记 $L(i,j)$ 赋为 $L(i,j-1)$,若 $im(i,j)$ 左边不为0且 $L(i,j) \sim L(i-1,j)$ 时,若 $L(i,j) > L(i-1,j)$,则 $P(L(i,j)) = P(L(i-1,j)), L(i,j) = P(L(i-1,j))$,否则 $P(L(i-1,j)) = P(L(i,j))$ 。

3)对于下一个不为0的元素 $im(i,j)$ 且 $j \leq W$,返回步骤1),否则 $i = i + 1$,返回步骤1)。

经过第1遍扫描后,获得标记矩阵 L 和数组 P 。第2遍扫描将 $L(i,j)$ 赋值为 $P(L(i,j))$ 。此赋值需要几次迭代,由于在记录等同标记时比较的是2个标记的大小以及两者的等同标记,若大者首先使用小者的等同标记而小者的等同标记修改在之后进行时,则标记大者被赋的不是最小的等同标记,这与文

献[10-11]方法不同。

1.3 多项式拟合后拉直的过程

连通区域获得以后检查出基点,使用多项式拟合,拟合方法为最小二乘法^[12-13]。使用 3 次多项式拟合基点及拉直效果见图 7 和图 8。实验使用 5 次或更高次多项式拟合,拟合结果并没有显著提高,反而增加了计算成本,因此,本文采用三次多项式。获得连通区域后检查出的基点有噪点,噪点产生的原因有:1)字母 i,j 中的点单独成为一个连通域;2)字母 g,j,p,q,y 形状特殊,最低点并不在基线上;3)彩色图像向二值化转换后噪声被放大。字母本身形状形成的影响见图 9 和图 10。因为 g 的影响使拟合线有点下移,而这下移拉直后使字母上翘。为消除噪声点影响,本文进行 2 次拟合,将第 1 次拟合后误差较大的基点去掉再进行第 2 次拟合,效果见图 11。

(Szelski and Shum 1997, Shum and

图 7 弯曲行

(Szelski and Shum 1997, Shum and

图 8 拉直行

(length) associated with each image

图 9 字母 g 的影响

(length) associated with each image

图 10 字符 e 上翘的现象

(length) associated with each image

图 11 去除 g 的影响

2 基于行间留白的行分割

将图像作为整体来标记区域、提取基点,根据基点很难区别出属于哪一行,因为弯曲厉害的文本行有上有下,行与行之间的区别不能用位置上下来比较。基点提取需要针对行来进行,要将文档的每一行分割出来。文档分割行若采用图像分割的方法,先提取特征再进行特征分类,这对二值化的文字图像来说复杂、耗时。考虑到文档行间留白,文档弯曲留白随之弯曲,留白的连通性不会随着图像形变而改变,留白提取出来以后行便分割开来。留白区域提取方法采用改进的区域生长法^[14-15]。改进区域生长法和经典方法不同之处有:

1) 区域增长以块为单位向 3 个方向扩展。如图 12 所示,其中,R 表示当前块;A,B,C 分别表示其右上、右中、右下块。

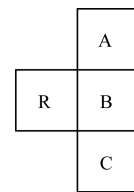


图 12 扩展方向示意图

2) 元素出栈时记录所处的列,当列到达右边界时结束搜索。当前块 3 个方向的入栈顺序分别为 C,B,A,这样出栈顺序为 A,B,C。结合这两点,搜索以右上的方向为主,找到一条通路便停止。

3) 记录出栈区域的中心坐标。若搜索最后坐标没有达到右边界则不认为找到一行留白。

利用行间留白的行分割算法的具体过程如下:

1) 设置块 *block* 的大小;行块中心点记录矩阵 *rowinit*。

2) 对图像从左边开始扫描块,若为留白则入栈 *stack*,进行步骤(1)和步骤(2),直到图像扫描结束。

(1) 若栈 *stack* 不为空,栈顶元素出,*rowinit* 记录坐标,判断列是否越界,若是则越界停止,否则依次判断块 C,B,A 是否为留白,若是则入栈;返回步骤(1)直到栈空。

(2) 判断列是否大于指定值,若是则找到一行留白,其上是一行文字。

block 需依据具体书页行间距来选取,对具体行间距有一定依赖性。对于行间距大的文档 *block* 可以设置得大些,减少搜索时间;对于较密的行,*block* 需设置小些,防止找不到行留白。图 13(a)的 *block* 设置为 13,图 13(b)增加找到了的行留白,若 *block* 置为 15 及以上,则不能正确分行;若置为 9 以下,则会出现溜行,原因在于句首字母离前句尾字符较远。

must first determine the appropriate mathematical model relating pixel coordinates in to pixel coordinates in another. Section 2 reviews these basic motion models. Next, we show estimate the correct alignments relating various pairs (or collections) of images. Section 4 discusses how direct pixel-to-pixel comparisons combined with gradient descent (ar ization techniques) can be used to estimate these parameters. Section 4 discusses b features can be found in each image and then efficiently matched to rapidly estab nces between pairs of images. When multiple images exist in a panorama, techni eloped to compute a globally consistent set of alignments and to efficiently dis

(a)原图

must first determine the appropriate mathematical model relating pixel coordinates in to pixel coordinates in another. Section 2 reviews these basic motion models. Next, we show estimate the correct alignments relating various pairs (or collections) of images. Section 4 discusses how direct pixel-to-pixel comparisons combined with gradient descent (ar ization techniques) can be used to estimate these parameters. Section 4 discusses b features can be found in each image and then efficiently matched to rapidly estab nces between pairs of images. When multiple images exist in a panorama, techni eloped to compute a globally consistent set of alignments and to efficiently dis

(b)搜索到的行留白

图 13 行留白示意图

3 实验与结果分析

记待处理图像像素数为 n , 本文算法区别行采用小块入栈 3 个方向扩展查看的方式, 时间复杂度为 $O(\log_3 n)$; 每行采用二遍扫描连通域标记法, 时间复杂度为 $O(2n)$; 行基线寻找及多项式最小二乘拟合时间复杂度为 $O(w^2)$, w 为图像列宽, w^2 规模约为 n ; 校正拉直扫描一遍图像, 时间复杂度为 $O(n)$, 因此, 完整算法时间开销为 $O(\log_3 n + 4n)$ 。算法复杂度和问题空间规模呈线性关系, 较高分辨率图像较耗时。实验硬件条件为 Intel(R) Core(TM) i3 CPU 1.8 GHz, 4 GB 内存; 操作系统为 Windows8, 实验平台为 Matlab7。图 14 为图 3 的校正图, 图 15 为图 13(a) 的校正图。图 14 大小为 685×458 像素, 耗时 3.2 s; 图 15 大小为 $1\,589 \times 693$ 像素, 耗时相应增加。

the simplicity of the mapping equation instead of the general 8-parameter homography. 3D rotation motion models corrected, or variable (Szeliski and Shum 1997) length) associated with each image geometry, which makes this the method

图 14 图 3 的校正图

must first determine the appropriate mathematical model relating pixel coordinates in one image to pixel coordinates in another. Section 2 reviews these basic motion models. Next, we discuss how to estimate the correct alignments relating various pairs (or collections) of images. Section 3 discusses how direct pixel-to-pixel comparisons combined with gradient descent (arization techniques) can be used to estimate these parameters. Section 4 discusses how features can be found in each image and then efficiently matched to rapidly establish correspondences between pairs of images. When multiple images exist in a panorama, techniques developed to compute a globally consistent set of alignments and to efficiently dis-

图 15 图 13(a) 的校正图

将图 14 和图 15 分别输入汉王 OCR8.1, 识别字符正确率分别为 88.6% 和 93%。在图片校正情况下, 正确率提高了 4%。

图 16(a) 是从文献[5]PDF 文件中直接复制图, 大小为 332×114 像素, 图 16(b) 为文献[5]改进的文档图像扭曲校正算法的结果, 图 16(c) 为本文算法结果。因为图片较模糊, 二值化后每个字符基点不稳定, 这对拉直效果有一定的影响, 但比较后, 图 16(c) 在单词“by a”, “in document”, “these”, “volumes”等上平直些, 整齐度较好。

算法鲁棒性依赖于修改区域生长法, 区域生长法适应性较强。对于分栏的文档图像, 可以先使用向下优先搜索区域生长法获得列间空白大小和列数, 分析出文档栏数, 分割出每栏图像, 对于每栏图像再利用行间空白分割出每一行。文档图像中可能有表格、插图等, 它们和前面后面文字有留白, 大小和行高不同, 通过行高分析进行区别。

Non-linear warping appears in document images when captured by a digital camera or a scanner, especially in the case that these documents are digitized bounded volumes. Arbitrarily warped documents may have several slope changes along the

(a)原图

Non-linear warping appears in document images when captured by a digital camera or a scanner, especially in the case that these documents are digitized bounded volumes. Arbitrarily warped documents may have several slope changes along the

(b)文献[5]算法纠正图

Non-linear warping appears in document images when captured by a digital camera or a scanner, especially in the case that these documents are digitized bounded volumes. Arbitrarily warped documents may have several slope changes along the

(c)本文算法纠正图

图 16 本文算法与文献[5]算法的结果比较

4 结束语

因获取时拍摄角度、纸张不规则铺陈或者破损, 文档图像常扭曲变形, 造成识别困难。本文使用改进区域生长法分割文档图像行, 之后利用改进的四连通域标记二遍扫描法获取行基线进行拉直处理, 实现图像校正。分析和实验结果表明, 改进区域生长法能够绕过表格、插图实现行分割, 算法简单, 实用性强; 改进的四连通域标记二遍扫描法算法效率高, 适合大尺寸图像预处理。两者结合实现文本曲行拉直, 能够使文本图像更美观, 便于识别。将拉直后的图像应用于 OCR 识别, 识别效率虽然有所提高, 但没有大幅度提升, 其原因是算法设计没有考虑到拍摄透视形变以及纸张面弯曲的因素, 因此, 透视形变校正和纸张曲面展开是今后研究的方向。

参考文献

- [1] Lavialle O, Molines X, Angella F, et al. Active Contours Network to Straighten Distorted Text Lines [C]//Proceedings of International Conference on Image Processing. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2001: 748-751.
- [2] Gatos B, Pratikakis I, Ntirogiannis K. Segmentation Based Recovery of Arbitrarily Warped Document Images [C]//Proceedings of the 9th International Conference on Document Analysis and Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2007: 989-993.
- [3] Liu Hong, Ding Runwei. Restoring Chinese Documents Images Based on Text Boundary Lines [C]//Proceedings of 2009 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2009: 577-582.

(下转第 286 页)

参考文献

- [1] Ward G. A Contrast-based Scalefactor for Luminance Display[M]. Boston, USA: Academic Press, 1994.
- [2] Tumblin J, Rushmeier H. Tone Reproduction for Realistic Images[J]. IEEE Computer Graphics & Applications, 1993, 13(6): 42-48.
- [3] Schlick C. Quantization Techniques for Visualization of High Dynamic Range Pictures[M]. Berlin, Germany: Springer, 1995: 7-20.
- [4] Ferwerda A J, Pattanaik S N, Shirley P, et al. A Model of Visual Adaptation for Realistic Image Synthesis[C]// Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York, USA: John Fujii Hewlett-Packard, 1996: 249-258.
- [5] Larson G W, Rushmeier H, Piatko C. A Visibility Matching Tone Reproduction Operator for High Dynamic Range Scenes[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1997, 3(4): 291-306.
- [6] Drago F, Myszkowski K, Annen T, et al. Adaptive Logarithmic Mapping for Displaying High Contrast Scenes[J]. Computer Graphics Forum, 2003, 22(3): 419-426.
- [7] Reinhard E, Stark M, Shirley P, et al. Photographic Tone Reproduction for Digital Images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 267-276.
- [8] Meylan L, Susstrunk S. High Dynamic Range Image Rendering with a Retinex-based Adaptive Filter[J]. IEEE Transactions on Image Processing 2006, 15(9): 2820-2830.
- [9] Fattal R, Lischinski D, Werman M. Gradient Domain High Dynamic Range Compression[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 249-256.
- [10] Li Yuanzhen, Sharan L, Adelson E H. Compressing and Companding High Dynamic Range Images with Subband Architectures[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 836-844.
- [11] Cadik M, Wimmer M, Neumann L, et al. Evaluation of HDR Tone Mapping Methods Using Essential Perceptual Attributes[J]. Computers & Graphics 2008, 32(3): 330-349.
- [12] Banterle F, Ledda P, Debattista K, et al. A Psychophysical Evaluation of Inverse Tone Mapping Techniques[J]. Computer Graphics Forum, 2009, 28(1): 13-25.
- [13] Aydin T O, Mantiuk R, Myszkowski K, et al. Dynamic Range Independent Image Quality Assessment[J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 1-10.
- [14] Yeganeh H, Wang Z. Objective Quality Assessment of Tone Mapped Images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(2): 657-667.
- [15] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [16] 曾志宏, 李建洋, 郑汉垣. 融合深度信息的视觉注意计算模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 200-202.

编辑 顾逸斐

(上接第 280 页)

- [4] 曾凡锋, 郭正东, 王战东. 基于连通域的扭曲中文文本图像快速校正方法[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(5): 1252-1255.
- [5] Liang Jian, Dementhon D, Doermann D. Geometric Rectification of Camera-captured Document Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2007, 30(4): 591-605.
- [6] 宋丽丽, 吴亚东, 孙波. 改进的文档图像扭曲校正方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(1): 204-206.
- [7] Ulges A, Lampert C H, Breuel T M. Document Image Dewarping Using Robust Estimation of Curled Text Lines[C]// Proceedings of the 8th International Conference on Document Analysis and Recognition. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2005: 1001-1005.
- [8] Tang Chengqing, Dai Xuejing. A Rectification Algorithm for Distorted Images from Cone Surface[C]// Proceedings of International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2010: 1-4.
- [9] Zhang Li, Yip A M, Brown M S, et al. A Unified Framework for Document Restoration Using Inpainting and Shape-from-Shading[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(11): 2961-2978.
- [10] Wu Kesheng, Ekow O, Kenji S. Optimizing Two-pass Connected-component Labeling Algorithms[J]. Formal Pattern Analysis & Applications, 2009, 12(2): 117-135.
- [11] Fu Yili, Han Xianwei, Wang Shuguo. A Fast Connected Components Labeling Algorithm for Binary Images[J]. Journal of Harbin Institute of Technology(New Series), 2012, 19(3): 81-87.
- [12] Marquardt D W. An Algorithm for Least-squares Estimation of Nonlinear Parameters[J]. Journal of the Society for Industrial & Applied Mathematics, 2006, 11(2): 431-441.
- [13] Dyer S A, He Xin. Least-squares Fitting of Data by Polynomials[J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2001, 4(4): 46-51.
- [14] Andrew M, Paul J. An Improved Seeded Region Growing Algorithm[J]. Pattern Recognition Letters, 1997, 18(10): 1065-1071.
- [15] 姜慧研, 张晔. 基于改进的区域生长法的气管与支气管分割[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2009, 30(2): 191-194.

编辑 金胡考