

# 基于3D直方图的彩色图象分割方法

潘 晨 顾 峰

(宁夏大学数学与计算机工程系, 银川 750021)

**摘要** 以阈值分割技术为基础,提出了基于3D直方图的生长法和尺度空间聚类方法,分别利用3D空间中同一类目标像素频度的连通性和尺度空间聚类原理,简单而有效地解决了多维阈值分割带来的过度分割问题.该方法对不同类型图象具有很好的适应性,并已成功应用于医学彩色图象处理领域.

**关键词** 阈值 颜色空间 3D直方图 图象分割

**中图分类号:** TP391.41 R445-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2002)08-0800-06

## Color Image Segmentation Based on 3D Histogram

PAN Chen, GU Feng

(Department of Mathematics & Computing Engineering, NingXia University, Yinchuan 750021)

**Abstract** Color image segmentation is essentially a clustering process in 3D color space, and color images can be considered as a special case of multi-spectral images. It is quite often when the objects cannot be extracted using three features but can be extracted using more than three features. In this paper, every pixel of an image is described using 5 features which are transformed from its own RGB features, then multi-dimensional thresholding (MDT) divide color space by thresholding each component histogram. This approach is equivalent to partitioning the multi-dimensional histogram into rectangular hyper-prisms. But MDT will lead oversegmentation in result. Hence, two-step algorithm is proposed to solve the problem of oversegmentation. The first step is region growing in 3D histogram by connectivity of frequency of neighbor bin in same class. The second step is data clustering based on scale space theory, which models the blurring effect of lateral retinal interconnections. The final algorithm that combines different approaches results in further improvement in performance. It is simple and effective to different color image, and has been used to segment the microscope medical image successfully.

**Keywords** Thresholding, Color space, 3D histogram, Image segmentation

## 0 引 言

图象分割是将图象分成各具特性的区域,并提取出感兴趣目标的技术和过程,是图象分析的关键步骤.在过去的10年中,已提出了许多种彩色图象分割方法,它们可粗略分为3类:基于直方图的分割技术(阈值分割,聚类等)、基于邻域的分割技术(边缘检测、区域增长等)、基于物理性质的分割技术(利用光照特性和物体表面特征等).

其中,基于直方图的阈值法<sup>[1~3]</sup>是将目标与背

景分离的最常用的图象分割方法之一,本质上可以将其归结为把图象分为两类或几类的简单聚类法.它简单地用一个或几个阈值将图象的灰度直方图分成两个或几个类,认为图象中灰度值在同一个灰度类内的像素属于同一个物体.通常阈值的选取由图象灰度直方图中明显的谷点决定.基于直方图的阈值法的优点是不需要了解图象的先验信息,算法直观、简便,运行速度快,然而,对于那些低对比度的图象或目标与背景面积对比悬殊的图象,会由于其直方图中谷点不明显而造成阈值选取困难.但是,实际应用中对医学显微图象而言,由于其照明条件可控

制而且目标/背景像素数量对比合适,因此上述的缺点可以得到克服。

彩色图象具有多维的特征分量,Ohlander等提出的直方图分析法<sup>[1]</sup>用多个颜色模型的9种不同本质的彩色分量1D直方图分割图象;Lim和Huang等提出了将3D直方图映射到1D直方图的尺度空间滤波SSF(scale space filter)<sup>[1]</sup>。这些方法的出发点基本相同,都是将多维空间的聚类降维投影到一维分量,以减少运算量,提高处理速度。本文将有上述特点的降维方法统称为多维阈值分割(Multi-Dimensional Thresholding(MDT))法。

图1是以HSI颜色模型为例的三维MDT方法。通过作出H、S、I分量图象,求出各自分量的直方图,用自动阈值法(如Ostu法等<sup>[2]</sup>)求得H、S、I分量的阈值 $T_H, T_S, T_I$ ,每个阈值都将构成一个滤波器,以过滤图象像素,并将像素分为目标和背景,这3个滤波器呈并联结构。目标图由3个分量滤波的结果图相“与”获得。从多维空间来看,每一维的阈值分割,相当于在阈值处作出以本维坐标轴为法向量的超平面。此超平面将分割多维空间中的聚类。3个特征分量上的阈值构成的3个平面可以将空间分为 $2^3=8$ 个部分,从而可找到目标聚类所在的空间位置。在实际应用中,可用人机交互等方法(如:用鼠标指定目标一次等)来得到目标点像素的特征向量值。将此特征向量值与特征空间对应的各维分割阈值(上述 $T_H, T_S, T_I$ )相比较,得到由各维分割阈值来表征的目标类分割特征。例如:一幅彩色图象HSI颜色空间求得的 $T_H=100, T_S=100, T_I=100$ ,而鼠标指定的某点目标HSI特征向量为(50, 210, 130),则目标点可用上述分割阈值表示为( $<T_H, >T_S, >T_I$ ),这样由一个目标点的特征值就可以获得相应空间中一类目标特征。用以上阈值表征的条件对像素滤波,可得到目标类。由于 $T_H, T_S, T_I$ 等阈值可由算法自动获得,因此只需指定目标的某一点后,算法即可自动完成目标分割。

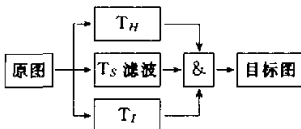


图1 MDT滤波

当图象复杂,聚类较多时,增加像素特征维数可以更好地区分不同聚类。将图1的MDT方法推广

到 $N$ 维空间,不难理解 $N$ 维MDT方法,可以构成 $N$ 个阈值超平面,将空间分割为 $2^N$ 个部分,等效于分割 $N$ 维直方图为超立方棱柱体<sup>[3]</sup>,而目标聚类必定存在于某部分空间中,可用 $N$ 个阈值来表征。

MDT法的分割效果与所采用的颜色模型及其多维直方图上聚类的分布密切相关。多维直方图上的聚类投影到1D直方图上时,会有不同聚类间的相互重叠,造成分割阈值的取值偏差,使同一聚类错分为不同的类,这样因缺乏图象的局部空间知识而容易造成对目标的过度分割<sup>[1,2]</sup>。因3维聚类降维投影不易表示,所以用2维直方图来示例降维映射(图2),其原理可推广到多维空间。

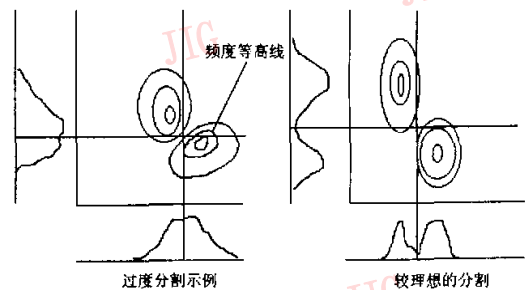


图2

MDT方法中的特征维数越高,过度分割现象就越严重。但值得注意的是,得到的目标图象中的噪声亦会大大减小。这是因为维数越高,对像素的描述越精确而导致的结果。

特征维数的增加要根据对实际图象的分割效果来定,通常选择有效的新特征分量的方法,即先将原彩色图变换为该分量图象,然后再对此分量图用自动阈值法(如:OSTU法)进行分割,如果可以将目标与背景较好地地区分开,则可将此分量加入MDT法。实验结果表明,对各类图象而言,MDT法的特征维数在5维左右已经能很好地达到提取目标的要求,且有较宽的适用范围。

综上所述,降维映射是MDT方法克服3D空间运算复杂性的手段,但也带来了过度分割的致命缺陷。若已知图象在聚类空间的分布情况,那么直接在3D空间中进行有关处理,应该是避免过度分割的比较好的方法。基于上述思路,并利用MDT的优点,提出了2种基于3D直方图的方法来对MDT方法加以完善和改进。

## 1 区域生长法在三维直方图的应用

真彩色图象的3D直方图是一种可视化数据图,从中可以观察到像素在3D颜色空间中的聚类特性.根据聚类的观点,在高维颜色空间中,同一类目标像素(指像素的坐标单元)通常是聚类在一起的,而其部分相邻像素出现的频度亦相同或相近,如图2中的等高线所示,即存在有同一目标像素间可度量的连通性.如果已知大部分目标像素在3D直方图中的分布情况,那么就可以利用这个连通性原则,找回被阈值超平面切掉的像素.

具体做法是:先用MDT方法提取出目标二值图象作为种子,然后利用二值目标图和原彩色图的像素位置对应关系,恢复种子的彩色值,并计算种子像素在3D直方图空间的坐标;以原彩色图象的3D直方图作为参考,利用该直方图空间中种子点坐标处的像素频度值,以频度相同或相近为连通性条件,在原3D直方图空间进行三维区域生长,可以找回被不当阈值切割而丢失的部分像素.依据找回的像素,可以得到改善了的分割结果.

3D直方图区域生长的程度,即新纳入目标类的坐标点的数量,可以作为表征过度分割严重程度的参数.

## 2 基于视觉系统的尺度空间理论聚类方法

人可以通过图形,从一堆杂乱的离散数据中观察数据间的内在关系,感受由图形所传递的内在本质.如从人的视觉角度可以很容易地观察到3D直方图中像素的聚类情况.但这一人类视觉处理的理论基础尚不明了,人类的视觉感知的模式还很难应用于机器视觉.随着神经生理学的发展和计算机辅助解剖学的研究,近年来,提出了几个相当精确的初级视觉系统的计算模型,它们分别建模于视觉系统的不同部分的不同层次.尺度空间理论(scale space theory)就是其中之一<sup>[4]</sup>.根据尺度空间理论,每个数据点被视作空间的一个光点,于是一数据集便构成空间的一幅图象.当模糊化这一幅图象时(即减少空间分辨率),相互临近的小光点就会融合变为一个小光斑,进一步地模糊又使小光斑逐渐融为大光斑;当分辨率充分低时,整个图形变成为一个光斑.如果将每个光斑看成

一个类,则上述过程便形成逐级聚类树.这一理论描述了由视网膜侧向联接所造成的图象模糊化效应,为聚类分析提供了一种新颖的生物观点,真正地将聚类置于视觉感知理论的基础之上<sup>[4]</sup>.

MDT方法中出现的过度分割现象,可以用尺度空间理论的观点来解释:多维的目标像素特征描述是一种比较精确的约束,且空间分辨率高(通常每一维特征分量取值为0~256).可以认为是由于过近距离、过于精确地观察图象,使得原本是同一目标的聚类因稍有差别,又被细分为不同的聚类,从而呈现过度分割.基于上述观点,为了改善过度分割,只要适当降低颜色空间的分辨率,就可能找回被错误细分的聚类,达到正确聚类的目的.

为此,利用MDT方法得到目标二值图象后,用滤波手段对其去噪提纯,并恢复目标的彩色特征,在3D直方图空间计算得到该目标像素的三维坐标,为视觉提供一个视焦点(或称为聚类中心);同时对原彩色图象的3D直方图,适当地降低空间的分辨率,再提取视焦点坐标所代表的那一类像素,就是改善了过度分割的目标像素.

这种聚类方式不需复杂计算,只需实现颜色空间的转换,算法简洁.但其中的一个重要参数是3D空间分辨率的降低程度.应用时,可将其设置为可调参数 $n$ .通常用 $256/n$ 来表征分辨率( $n=1,2,3,4,\dots$ ).3D空间最高分辨率为 $256 \times 256 \times 256$ ,可成倍数地减低至 $128 \times 128 \times 128, 64 \times 64 \times 64$ 等,但要求分辨率的降低,应避免使不同的聚类相互融合.该参数可以通过实验,根据其效果来调整.对不同类型图象,正式处理前,可事先观察不同分辨率对处理结果的影响(即要事先了解图象的先验信息),然后选定一个 $n$ 值,由于同一类型图象的直方图具有相似性,所以一旦选定分辨率后,即可较好地处理此类图象.

## 3 实际应用中的改进

实验中发现,对有些图象单独使用尺度空间聚类法时,在MDT方法提取目标后,如果颜色空间保持不变,作降低空间分辨率的操作来改善目标过度分割,效果不很明显.其原因,一是同一颜色空间中,对同一图象而言,降低分辨率后,其3D空间的聚类分布形状基本没有变化,即各聚类间的相对距离不变;二是从降低分辨率的角度来讲,尺度空间聚类相当于

以种子坐标点(视焦点)为中心,在 3D 直方图上作各方向同量的适当扩展,用以恢复被 MDT 阈值超平面分割切掉的像素单元,其对周围邻域的聚类是均匀距离的。当 MDT 法出现严重过度分割并且此时不同聚类间的距离也较近时,如图 3 二维直方图示例:一个聚类内被过度分割切掉的像素分布最大范围  $D$  大于聚类间的最小距离  $d$  ( $D > d$ ) 的情况。对这样的直方图降低分辨率进行聚类的目的,是为了找回被切掉的像素,要求  $n$  的增大使  $D$  趋近于 0 (即尽可能多地找回被切掉像素),但随着  $n$  的增大,  $d$  先趋近于 0,而为了避免不同聚类融合为同一类,必须要求  $d \neq 0$ ,最终导致  $D > d > 0$ 。由此可见,分辨率的降低程度  $n$  受到聚类间的距离  $d$  的制约,使得算法只能找回很有限的像素,导致此法对改善过度分割贡献不大。因此,只有当  $D \leq d$  时,采用尺度空间聚类才是合适的。

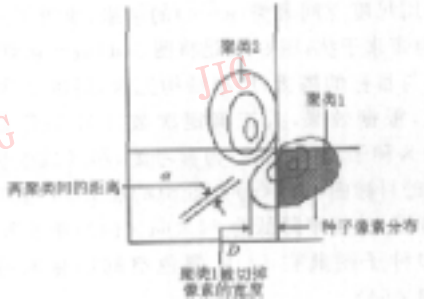


图 3

为克服上述不足,采取分别在不同的颜色空间进行 MDT 分割和尺度空间聚类。

不同颜色空间的相互转换,实际上是一种映射关系。根据现有的多种颜色模型来看,有许多是非线性的映射关系,如:在 HSI 空间得到的目标像素分布,转换到 LUV、 $U^*V^*W^*$ 、LAB 等颜色空间时的分布情况会完全不同,表现出非线性映射的特性<sup>[5,6]</sup>;当颜色空间选择合适时,会使得不同聚类间的距离变大,满足条件 ( $D \leq d$ ),从而适合采用尺度空间聚类。利用这一点,可以将 HSI 空间 MDT 方法得到的种子图象,恢复其原 RGB 颜色特征,再变换到降低空间分辨率的 LUV 均匀颜色空间,提取其坐标所代表的聚类,可以得到更好的分割效果。

实验表明,采用改进的方法后,MDT 法多采用 HSI 视觉颜色空间为主的特征分量来描述像素,而进行尺度空间聚类则需要均匀的颜色空间,如 LAB、LUV、 $U^*V^*W^*$  等能得到较好的效果。这揭示了人类的视觉描述系统与机器的视觉描述系统的

不同之处。当然,一个最佳的均匀颜色空间的选择同空间的分辨率一样,可根据不同类型的图象实验确定(但实验结果表明,一些彩色模型,如 LUV 对多种图象都能得到很好的分割结果)。

上述介绍的 3D 直方图生长和尺度空间聚类方法可单独应用,也可结合使用。从理论上讲,结合的效果好于单独应用。具体做法是:

(1) 两种方法串行使用,先做直方图生长,再做适当降低空间分辨率的聚类。

(2) 两种方法并行使用,可以在降低分辨率的 3D 空间直接做直方图生长。

前者参数容易控制,但运算资源开销大,速度稍慢;后者速度较快,效果与前相当,但参数相对不易调整控制。

应用中,必须注意种子图象的纯净性,因为只要在种子像素内混入少许噪声,就可能目标被噪声污染。种子的纯净依靠 MDT 方法的高维数来保证。如果高维 MDT 分割后,目标还包含噪声,就有必要进一步提纯种子,可利用各种去噪滤波方法进行。

#### 4 由 3D 直方图提取目标的方法

上述方法是通过 3D 直方图来改善过度分割,其最终都要以 3D 直方图中目标像素的空间坐标数据为滤波条件将原彩色图象滤波而得到目标图象。其中利用了彩色图象与其 3D 直方图相互间的映射关系。虽然同一直方图可能对应不同彩色图象,但同一彩色图象中像素与其直方图单元间仍是一一对应的关系,所以可以直接由目标的 3D 坐标提取原图象中的目标。

实际应用需要考虑到最坏情况。这里尺度空间聚类法的空间分辨率是人为地进行分级调整的,其降低程度不是平滑的连续值;且为减少过度分割,常会使得 3D 直方图聚类范围稍偏大。对某些目标特征与部分背景特征相近的图象来说,这样的聚类偏差会带来(非目标成分的)噪声,通常是将颜色相近的背景像素带入围目标图。因此在算法中,要对有噪声的初步结果图进行提纯。通常采用二值形态学开(先腐蚀后膨胀)运算,滤掉较小的孤立点和目标边缘突起,切断噪声点与目标的细长搭接(可以先腐蚀  $m$  次,再膨胀  $m$  次,可将  $m$  设为可调值,具体次数  $m$  根据具体图象人工干预,通常为 0~3 的正整数,目的是切断噪声与真正目标的连通。根据二值图象中

同一目标像素的连通性,用前述MDT法得到的种子,参照上述开运算处理后的二值目标图象,作二值区域生长,得到最终目标图。

### 5 实例说明

图4所示是一个实用算法流程框图,其对显微图象适用。图中标注有3处环节需要依次由人工预先调整参数,以适应不同类型图象。

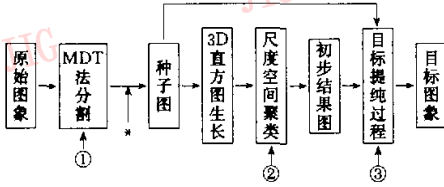


图4

环节1需要调整的是MDT法的分割维数,要求选取合适的维数,使分割得到的种子图无噪声。\*号处提示,若用5维MDT方法对某些复杂图象分割还得不到纯净种子,则可在MDT法后加入一级种子(滤波)提纯环节,以控制维数的规模。

环节2调整的是尺度空间聚类时的空间分辨率,要求分辨率合适,即使得聚类得到的初步结果图在改善过度分割的同时,尽量减少算法带来的非目标噪声。

环节3是针对初步结果图中引入较多噪声时的

处理措施,主要控制对初步结果图实行二值开运算的腐蚀-膨胀次数,目的是切断噪声同目标的连通,以利用种子图和区域生长法提纯目标。

图4中3D直方图生长框图的3D空间为HSI,分辨率作了适当降低,为 $128 \times 128 \times 128$ ,用以加快运算速度。实验结果表明,此举对结果影响不大。

以下给出几个图象处理实例说明效果。其中,图5(a)为血管图,血管与其部分背景由于血管染色和采样光照不均问题而特征相近,用其他图象分割方法往往不理想,这里将其作为一种复杂图象来看待;图5(b)是以HSI颜色空间为主,辅以 $I_1, I_2, I_3$ 空间的 $I_2$ 和 $U^*V^*W^*$ 空间的 $U^*$ 分量构成5维MDT分割的结果,但图中左下脚有背景噪声;图5(c)利用二值开运算(先腐蚀后膨胀各3次)提纯后的种子图;图5(d)为种子在HSI空间生长后,转换到LUV空间采用尺度空间聚类( $n=4$ )的结果,改善了过度分割,但带来干扰;图5(e)是将图5(d)做开运算,去除噪声与目标的搭接(用小结构元素,腐蚀2次-膨胀2次,根据效果,人工确定次数);图5(f)是用图5(c)为种子,以图5(e)为参考图,用区域生长法提取出的目标图;图5(g)为图5(a)在LUV空间的3D直方图(分辨率降低为 $64 \times 64 \times 64$ );图5(h)为图5(c)种子图象在LUV颜色空间的像素分布( $64 \times 64 \times 64$ )。

图6是利用图4算法对染色和采样条件较理想的微血管图象分割结果。图6(a)为原图;图6(b)是

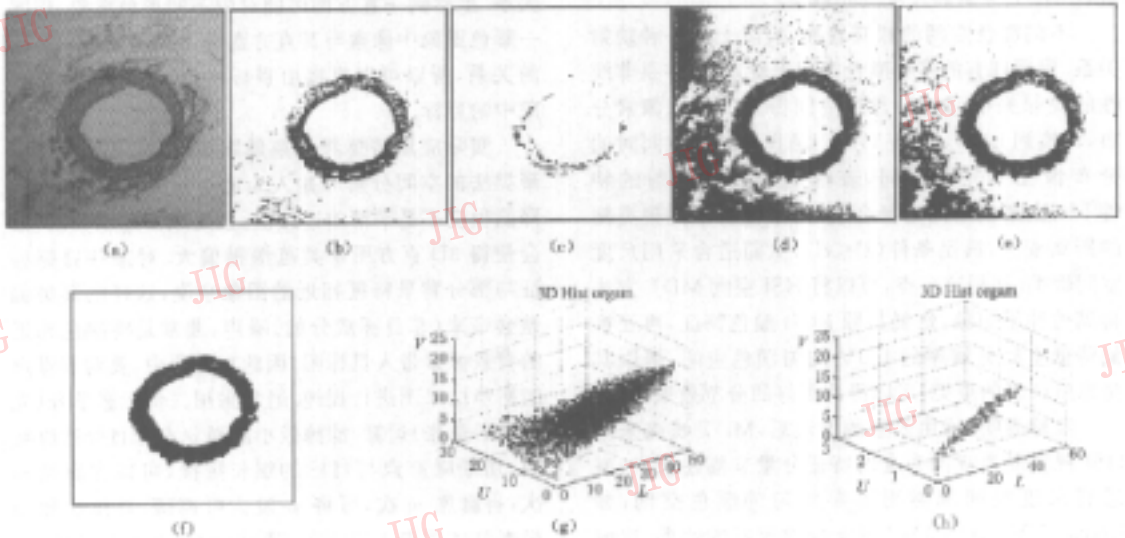


图5

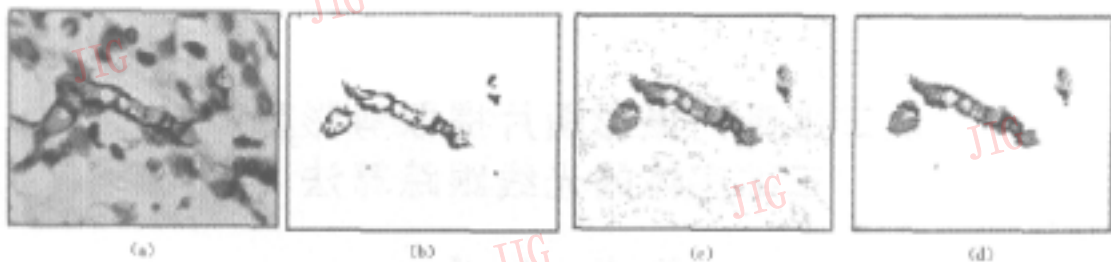


图 6

MDT 法得到的目标,因不含噪声,可直接作为种子;图 6(c)是经 3D 直方图生长和尺度空间聚类( $n=2$ )的结果;图 6(d)为提纯(使用 1 次开运算)后的目标。

实际应用时,对相同病理组织、染色条件和采样条件的图象,可以称为同类型图象。只要初次处理时依次对首幅图象进行预分割实验来确定 3 个可调参数,而后续图象的处理可自动进行,从而大大提高了检测效率。实验结果表明,若图象采样较理想,则除了环节 2 随不同类型图象、环节 3 随放大倍数不同而调整外,其余参数均有一个较稳定的适用范围。

## 6 结 论

利用真彩色图象像素在 3D 空间呈现的聚类特性,通过多维阈值分割(MDT)法与 3D 直方图生长法和尺度空间聚类法有机结合,克服了过度分割现象,取得理想分割效果。两种基于 3D 直方图的方法均可独立应用于图象分割,亦可结合使用。由于两种算法从过度分割入手来改善分割效果,使得算法对阈值分割错误不敏感,对颜色空间的适应性较强;同时算法直观、简便,运行速度较快。不足之处是算法需要针对不同类型图象确定一些参数,其中空间分辨率降低程度参数  $n$  的自适应确定是进一步研究的方向。

通过采用该算法对大量医学图象进行实验的结果可见,其中图 4 实用算法适用于染色显微图象,已实现于医学微血管参数测量系统的研制开发中,而对其他领域图象须作适当变化后,才可应用于相应领域。

## 参 考 文 献

- 1 Sang Ho Park, Il Dong Yun, Sang Uk Lee. Color image segmentation based on 3-D clustering; Morphological Approach [J]. Pattern Recognition, 1999,31(8):1061~1076.
- 2 Sahoo H P, Soltani S, Wong A K C *et al.* A survey of thresholding techniques [J]. Computer vision, Graphics, and Image Processing. 1998,41(2):233~260.
- 3 Kurugollu F, Sankur B, Harmanci A E. Color image segmentation using histogram multithresholding and fusion[J]. Image and Vision Computing. 2001,19(4):915~928.
- 4 张讲社,徐宗本. 基于视觉系统的聚类算法[J]. 计算机学报, 2001,24(5):498~501.
- 5 Castleman K R. 数字图象处理(Digital Image Processing)[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- 6 章毓晋. 图象工程(上册):图象处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社,1999,3.



潘 晨 1966 年生,讲师,1988 年获北京中国人民警官大学通讯专业工学学士学位,2001 年获上海华东理工大学测试计量技术专业工学硕士学位,现为西安交通大学生命科学与技术学院生物医学工程专业博士研究生。研究方向为医学图象处理、自动检测技术等。



顾 峰 1970 年生,讲师,1992 年获宁夏大学数学与电算工程系数学教育专业理学学士学位。研究方向为多媒体软件及技术。