

基于特征点检测的最佳视点选择方法

朱帆, 杨风雷

(上海大学 计算机工程与科学学院, 上海 200072)

摘要: 针对三维模型视点选择问题,提出了基于特征点检测的最佳视点选择方法。算法首先根据三维网格模型的顶点邻接区域信息计算顶点的局部高度,即顶点的显著度大小;然后基于顶点的局部高度值大小,结合非极大值抑制算法进行三维模型表面特征点检测;最后针对视点球体上的每个候选视点分析该视点下可见特征点的几何分布信息,计算视点质量,从而筛选出最佳视点。实验结果验证了基于特征点检测的三维模型视点选择方法的合理性和优越性,所选择的最佳视点能够提供三维模型较多的几何结构和视觉特征信息。

关键词: 三维模型; 视点选择; 顶点局部高度; 特征点检测; 视点质量

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2014)04-1242-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.04.069

Best viewpoints selection based on feature points detecting

ZHU Fan, YANG Feng-lei

(School of Computer Engineering & Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper proposed a novel best viewpoints selection approach that was capable of selecting best viewpoints for 3D models based on a feature points detection process. First, the algorithm defined a new saliency measure with the vertex importance based on its adjacent information, which assumed that the saliency of a given vertex on a 3D model could be described by its local height. Then, the effective feature points were promisingly able to be extracted by means of non-maximum suppression. Finally, to each candidate viewpoint, calculated its quality based on visible feature points information, chose the one with the largest amount of information as the best. The experiment results validates the accuracy and robustness of the proposed approach. In comparison with the related state-of-the-art work, this algorithm can measure viewpoint quality more objectively and can obtain best viewpoints which have better visual effect.

Key words: 3D models; viewpoint selection; vertex local height; feature points detection; viewpoint quality

0 引言

随着三维模型数据的广泛应用,三维模型最佳视点自动选择技术逐渐成为计算机视觉和计算机图形图像等领域的研究热点。由于现实世界是由三维物体构成的,而人类的视觉系统只能获得二维图像,仅能够对三维物体的可见部分进行感知,这一感知过程明显具有视点依赖性,即从不同的空间位置观察同一三维物体,所获得的视图是不同的。最佳视点选择技术就是帮助人们选择一个质量最好的观察视点,从此视点出发能够形成对观察物体最全面、最直观地认识。

关于最佳视点选择的讨论由来已久,一个质量较优的观察视点应该具有易辨识性、符合人们的观察习惯和一定的美学标准^[1]。在计算机图形图像领域,最佳视点选择技术的研究对三维模型的形状分析与处理、场景理解等都具有非常重要的意义。在对三维模型进行分析、识别等处理过程中,三维模型的几何信息和视觉显著信息显然起到了至关重要的作用。当前三维模型最佳视点选择技术可大致分为两类:

a) 基于三维模型几何信息量的视点选择^[2-7]。此类方法是根据视点下可见的顶点数目、可见面片数目、面片投影以及几何面积等因素来计算视点质量,从而提取最佳视点。如

Vazquez 等人^[2-4]将面片出现概率定义为面片投影面积与视图分辨率的比值,结合信息论中香农熵的概念提出视点熵视点质量度量标准。这类方法的特点是执行效率高,能够观察到特定的几何信息,但是忽略了三维模型的几何元素的视觉显著性。

b) 基于视觉显著信息量的视点选择^[8-13]。此类方法根据视点下观察到的视觉特征,如轮廓、网格显著度等因素计算视点质量,如 Lee 等人^[8]利用局部平均曲率来定义网格显著度(mesh saliency),视点质量的优劣即可用该视点下可见网格的显著度之和的大小来评价;杨利明等人^[13]通过计算网格在视平面上的相关曲率及关于该曲率的一个熵函数值来计算视点质量。此类方法的特点是:能够较好地捕捉到视点观察到的视觉信息,但是忽略了三维模型的几何信息。

针对上述两类方法存在的优缺点,本文提出了一种基于三维表面特征点检测的最佳视点选择方法。该方法背后的基本思想是:若从某一视点观察,能够获得较多的视觉显著性信息的同时,还能够观察到三维模型较大的投影面积或较多的可见面片,即此视点质量的较优。三维模型表面特征点分布代表了其显著性信息的分布,在候选视点球上,视点下可见特征点数目越多,则表示此视点下显著性信息量越大;在保证视点下可见特征点数目较多的同时,视点下可见特征点的投影包围盒面积越大,则表示该视点下可见的三维模型的几何信息量越大,

收稿日期: 2013-05-31; 修回日期: 2013-07-01

作者简介: 朱帆(1989-),女,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为计算机视觉(zhfan@shu.edu.cn);杨风雷(1976-),男,安徽萧县人,讲师,博士,主要研究方向为计算机视觉、机器学习、人工智能。

对应着此视点的质量相应越优。算法主要步骤如下:

- a) 顶点显著度计算。根据顶点的领域信息计算顶点的显著度。
- b) 特征点检测。基于顶点显著度,利用非极大值抑制技术,提取三维模型表面特征点。
- c) 较优视点集提取。根据视点下的可见特征点的数目,从众多候选视点中筛选出较优的视点。
- d) 最佳视点选择。根据视点下可见特征点的投影包围盒的面积,从较优的视点集中挑选出最佳视点。

1 特征点检测

三维模型特征点是指表面几何属性变化比较大的那些点的集合。截止目前,三维模型特征点的检测还没有一种通用的方法。现有的三维模型特征点检测算法主要是以顶点的曲率大小进行检测的。Meyer 等人^[14]利用顶点的两个主曲率以及高斯曲率进行判断,当某点的三个曲率值均满足一定条件时,则该点为特征点,Zou 等人^[15]以曲率计算为基础,辅以一定的平滑技术,然后把具有局部极值的网格顶点视为特征点。由于曲率本身反映的是三维模型表面一个极小范围内的几何性质,易受到噪声的影响,与视觉显著感觉存在不一致等问题,林金杰等人^[16]提出了一种基于顶点局部高度的特征点检测方法。该方法指出三维网格表面上某点的显著度可由该顶点与其邻近区域内的顶点之间的平均高度差值来描述,其中顶点之间的高度差计算公式如式(1)所示。

$$h(v, v') = \| (v - v') \cdot \mathbf{NV}(v) \| \quad (1)$$

其中: $\mathbf{NV}(v)$ 是顶点 v 的法向量,即顶点 v 与其相邻顶点 v' 之间的高度差; $h(v, v')$ 是顶点 v, v' 为端点组成的边在顶点 v 法向量上的投影长度。

由式(1)可知,同一对顶点之间的高度差具有不对称性,即 $h(v, v')$ 、 $h(v', v)$ 的大小是不相等的。在计算三维网格每个顶点的局部高度时,不仅需要搜索统计其相邻近的顶点,还需要分别计算邻近顶点与此顶点之间的高度差。当三维网格模型顶点的规模数增大时,其局部高度计算的时间开销会越来越大,其中顶点局部高度计算详细过程参见文献[16]。受其思想的启发,本文提出一种改进的顶点局部高度计算方法。给定一个三角网格模型,顶点的局部高度计算过程如下:

- a) 计算各个面片面积 area 和法向量 \mathbf{NF} 。
- b) 计算各个顶点的法向量 \mathbf{NV} ,计算公式如式(2)所示:

$$\mathbf{NV}(v) = \frac{\sum_{f \in F(v)} (\mathbf{NF}(f) \times \text{area}(f))}{\sum_{f \in F(v)} \text{area}(f)} \quad (2)$$

其中: $F(v)$ 为顶点 v 所关联的面片集合, $\mathbf{NF}(f)$ 为面片 f 的法向量, $\text{area}(f)$ 为面片 f 的面积。

- c) 计算各条边的平均法向量 $\mathbf{NE}(v, v')$,计算公式如式(3)所示:

$$\mathbf{NE}(v, v') = \frac{\frac{(\mathbf{NV}(v) + \mathbf{NV}(v'))}{2}}{\| \frac{(\mathbf{NV}(v) + \mathbf{NV}(v'))}{2} \|} \quad (3)$$

其中: v, v' 是边的两端顶点。

- d) 计算相邻顶点之间的高度差,计算公式如式(4)所示:

$$h(v, v') = \| (v - v') \times \mathbf{NE}(v, v') \| \quad (4)$$

即此两顶点为端点的边在该边平均法向量上的投影高度。

- e) 将式(4)代入式(5)计算各顶点的局部高度:

$$H(v) = \frac{8 \sum_{v' \in V(v)} h(v, v')}{C^2 |V(v)|} \quad (5)$$

其中: C 为顶点 v 所关联面片的面积和, $V(v)$ 为与顶点 v 相连的顶点集合, $|V(v)|$ 表示集合 $V(v)$ 的大小。对该顶点局部高度计算公式的具体解释参见文献[16]。

上述方法首先根据顶点领域内的面片法向量和面积定义顶点法向量,再根据顶点法向量计算三维网格模型上每条边的平均法向量,则每条边的两端点之间的高度差即为该边在它自身的平均法向量的投影长度。由式(4)可知两相邻顶点之间的高度差具有对称性,即 $h(v, v')$ 和 $h(v', v)$ 的大小是相等的,故在计算顶点的局部高度过程中,无须重复计算 $h(v, v')$ 和 $h(v', v)$,加快了顶点局部高度的计算效率。

基于上述算法的局部高度,提取局部高度前 10% 的点作为初始候选特征点;对候选特征点加以两次非极大值抑制,基于领域的非极大值抑制和基于距离的非极大值抑制,即对每一个候选特征点,在其一阶领域内进行探测,如果其局部高度在此领域范围内最大,则在一定的欧式距离范围内探测;如果其局部高度仍是该范围内最大,则将其标记为特征点,否则将其剔除。最终检测到的特征点如图 1 所示。

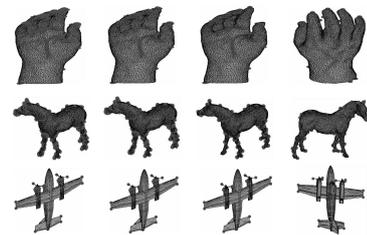
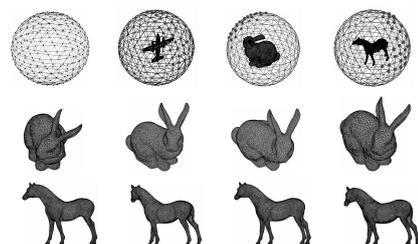


图 1 三维模型表面特征点提取过程

2 最佳视点选择

2.1 候选视点

候选视点的选择是最佳视点选择的基础任务,一个模型可以从它周围空间内的无数个视点对其进行观察,能够得到无数个视图,但是提取过多的视点会增加计算量,降低算法效率。另一方面,算法又要必须采样足够多的候选视点取得视图,如果候选视点数目不够多,模型上的一些重要细节就可能因被遮蔽而丢失,从而影响选择最佳视点的效果。权衡这两点,笔者所选择的候选视点如文献[10]中所述,对一个八面体进行迭代网格细分,最终得到一个含有 258 个顶点的视点球体,如图 2 中第一行图片所示。最终每个模型可有 258 个候选视点对其进行观察,假设 VP 为候选视点集合,则 $VP = [vp_1, vp_2, \dots, vp_{258}]$ 。



2 三维模型较优视点集合与部分较优视图

2.2 最佳视点选择过程

到目前为止,何为最佳视点并没有确切的定义,但普遍接受的一种说法是:从该视点观察,所获得的信息量最多,则该视

点即为最佳视点。在这里本文提出了一种基于特征点的视点质量计算方法,不直接依赖于网格模型的顶点与面片,而是基于特征点所蕴涵信息量的大小来度量视点下显著性信息量和几何信息量的多少,这是本文与其他算法的一个主要区别。该方法认为视点的质量由视点下可见显著性信息,即视点下可见特征点的数目多少,以及可见几何信息量,即视点下可见特征点在视平面上的投影包围盒面积大小,两者共同决定。视点质量评价不仅考虑了视点下的三维显著性信息量,也综合考虑了三维模型的几何分布信息,对视点质量的描述更加客观。

针对视点球体上的每个视点,首先需要对先前检测到的表面特征点进行可见性判断。主要分为两大步骤:

a) 首先根据视线与特征点法向量之间的夹角剔除掉大部分不可见特征点。当视线与某一特征点法向量之间的夹角小于 90° 时,则此特征点在此视角下不可见。

b) 结合遮挡算法进一步剔除掉不可见特征点。当视点与特征点之间的连线与网格模型有交点时,即视点与特征点之间有遮挡时,则此特征点不可见。

根据上述特征点可见性判断,统计每个候选视点下的可见特征点。视点下可见的特征点数目越多,则表示此视点下可见的显著性信息量越多,因此可见特征点数目较多的视点质量要优于视点球上的其他候选视点。提取可见特征点数目较多的候选视点形成一个数目较小但质量较优的视点集合 $OPT_VP = [ovp_1, ovp_2, \dots, ovp_n]$, n 表示较优的视点数目 ($n < 258$)。对 OPT_VP 中的每个视点计算其可见特征点在视平面上的投影包围盒面积,对应投影面积越大,表示可见的三维模型的几何信息越多。投影面积最大的视点即最佳视点。

针对某一具体的三维模型,其最佳视点选择过程如下:

a) 输入视点集合 $VP = [vp_1, vp_2, \dots, vp_{258}]$, 三维模型特征点集合 $FP = [fp_1, fp_2, \dots, fp_m]$, m 为特征点总数目;

b) 判断每个视点下的可见特征点集合 $VFP(i) = [vfp_1, vfp_2, \dots, vfp_{ni}]$, $i = [1, 2, \dots, 258]$, ni 为第 i 个视点下可见特征点的总数目;

c) 统计每个视点下可见特征点的数目;

d) 利用可见特征点数目的大小提取较优视点集合 OPT_VP ;

e) 计算较优视点集合中每个视点下可见特征点的投影包围盒面积大小;

f) 最佳视点即为可见特征点投影包围盒面积最大的视点。

3 实验结果

本文中所使用的模型均是三维形状分析研究中所广泛应用的模型,实验中使用到的这些模型均来自于 The Stanford 3D Scanning Repository^[17] 和 AIM@SHAPE 的 Watertight Track of SHREC 2007^[18] 数据库。本文在 P4 3.2 GHz, 2 GB 内存的计算机上采用 MATLAB 与 C++ 混合编程。为验证本文方法的有效性 with 优越性,分别进行了如下实验。

实验 1 用于验证用局部高度衡量顶点显著性的合理性和准确性。本文由三维模型顶点相对于领域内顶点的高度差,即顶点的凹凸程度,来衡量顶点的局视觉显著性。为了避免噪声的影响,借助于顶点关联面片的法向量、面积等因素来计算顶点的局部高度,具体计算过程如第 1 章所述。图 1 中的第一列图像给出了 hand、horse、airplane 模型表面局部高度排名前

10% 的顶点(红色顶点,见电子版)。从实验结果可以看出,用局部高度来衡量顶点的显著性是合理的,如 horse 模型的耳朵、眼睛、嘴巴、四肢关节部位显然是视觉重要性区域,采用局部高度计算顶点显著度,这些部位的顶点显著度也是较高的,故可知局部高度与人类的视觉感受具有一致性。

实验 2 基于顶点的局部高度计算,结合两次非极大值抑制的特征点提取过程。根据实验 1 提取的初始候选特征点,即顶点局部高度排名前 10% 的顶点,先在其一阶顶点领域内进行非极大值抑制,去除虚假特征点;再根据剩下的候选特征点的分布特点,在其一定空间距离范围内进行非极大值抑制,去除虚假特征点。实验中距离设置为 $4r$, 其中 r 是三维模型顶点之间的平均距离,最终保留的点即为三维模型表面的特征点。两次非极大值抑制所提取的特征点如图 1 的前两列图像所示。图 1 最后两列图像展示的即为三维模型表面检测到的特征点,虽然还没有量化指标用来评价特征点检测算法的优劣,但从图 1 可以看出本文算法所检测到的特征点与人的视觉感受是相符合的,如 hand 模型检测到的特征点分布在指尖、指跟、手掌纹路这些视觉重要性区域。

由于特征点的局部高度是基于三维表面顶点的领域信息的度量,因此,当三维模型的分辨率越高,顶点规模越大,特征点检测过程越耗时。基于特征点检测的最佳视点选择算法的大部分时间都花费在特征点的检测过程中。本文算法对 10 k 面片以下的模型基本可以达到实时处理,对于面片数目大约为 20 k 的 horse 模型特征点提取大约需要 20 s, 总共最佳视点选择过程大约需要 30 s。在本文的顶点局部高度计算以及非极大值抑制过程中所使用的邻居顶点集合均是通过广度优先遍历算法得到的,未使用其他加速算法。

不同视点处获取的三维模型信息并非恒定的,变化的根本原因是三维物体表面的几何属性的变化,这与认知心理学的研究结果相符。本文将可见特征点数目和可见特征点的投影包围盒面积大小作为视点质量度量的两大标准。图 2 上排图像显示的是候选视点球,以及各模型根据可见特征点数目所提取的较优的视点集合(候选视点球上红色视点,见电子版)。从这些较优的视点下观察三维模型,能够观察到三维模型较多数目的特征点,即表示从这些视点出发,能够观察到的三维模型显著性信息量较大,其中部分较优视图如图 2 下方两排图像所示。图 3 所示的是根据可见特征点的投影包围盒面积从较优的视点集中所选择的最佳视图。从本文所选择的最佳视点出发,在能够获取的较多显著信息量的同时,保证了视点下的几何信息量。从图 3 可知,所获得的视图与人们日常观察习惯相符。

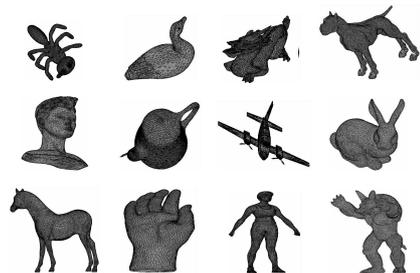


图 3 三维模型最佳视点下的视图

4 结束语

针对以往视点质量计算方法存在的缺陷,本文提出了基于

三维模型表面特征点的视点选择方法。与其他方法相比,其主要特征如下:a)基于顶点的领域信息计算顶点的局部高度,利用一种对称的高度差计算改善了文献[16]中局部高度计算耗时的缺陷;b)借助于顶点的局部高度,结合非极大值抑制方法提取三维模型表面特征点,由实验结果可知,所检测到的特征点与人类的视觉特征是相符的;c)视点质量的计算主要分为两个步骤:(a)根据视点下可见特征点的数目从众多候选视点中筛选出一个较小的但质量较优的视点集合;(b)这个小的集合中根据顶点的投影分布选择出最佳视点。视点质量计算过程仅仅依赖于所提取的特征点,而不是直接依赖于三维模型的顶点和面片,故视点质量计算效率较高,综合考虑了特征点的数目和几何分布信息,能够更加客观地度量视点质量。

该方法是基于三维模型的特征点的检测进行视点质量评价,将来的研究可以从以下几个方面考虑:三维模型表面显著性几何信息的检测,如三维模型表面特征点、特征线、显著性区域的检测等;综合三维模型表面多种特征信息来进行视点质量度量。

参考文献:

- [1] BLANZ V, TARR M J, BULTHOFF H H, *et al.* What object attributes determine canonical views? [J]. *Perception-London*, 1999, 28(5): 575-600.
- [2] VAZQUEZ P P, FEIXAS M, SBERT M, *et al.* Viewpoint selection using viewpoint entropy [C]//Proc of Vision Mod-Deling and Visualization Conference. Stuttgart: AKA Gmbh, 2001:273-280.
- [3] VAZQUEZ P P, FEIXAS M, SBERT M, *et al.* Viewpoint entropy: a new tool for obtaining good views of molecules [C]//Proc of Symposium on Data Visualisation. Aire-la-Vile: The Eurographics Association Press, 2002:183-188.
- [4] VÁZQUEZ P P. On the selection of good views and its application to computer graphics [D]. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya, 2003.
- [5] SBERT M D, PLEMENOS D, FEIXALS M. Viewpoint quality: measures and applications [C]//Proc of the 1st Eurographics Workshop on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging. Aire-la-Vile: The Eurographics Association Press, 2005:185-192.
- [6] PAGE D L, KOSCHAN A F, SUKUMAR S R, *et al.* Shape analysis algorithm based on information theory [C]//Proc of IEEE International Conference on Image Processing. Washington DC: IEEE Press, 2003:229-232.
- [7] FEIXAS M, SBERT M, GONZÁLEZ F. A unified information theoretic framework for viewpoint selection and mesh saliency [J]. *ACM Trans on Applied Perception*, 2009, 6(1): 1-23.
- [8] LEE C H, VARSHNEY A, JACOBS D W. Mesh saliency [J]. *ACM Trans on Graphics*, 2005, 24(3): 659-666.
- [9] SOKOLOV D, PLEMENONS D. Viewpoint quality and scene understanding [C]//Proc of the 6th International Conference on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage. Aire-la-Vile: The Eurographics Association Press, 2005: 67-73.
- [10] DUTAGACI H, CHEUNG P C, GODIL A. A benchmark for best view selection of 3D objects [C]//Proc of ACM Workshop on 3D Object Retrieval. New York: ACM Press, 2010:45-50.
- [11] YANG Yu-bin, LU T, LIN J J. Saliency regions for 3D mesh abstraction [C]//Proc of the 10th Pacific Rim Conference on Multimedia. Berlin: Springer-Verlag, 2009:292-299.
- [12] LEIFMAN G, SHTROM E, TAL A. Surface regions of interest for viewpoint selection [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC: IEEE Press, 2012: 414-421.
- [13] 杨利明, 王文成, 吴恩华. 基于视平面上特征计算的视点选择 [J]. *计算机辅助设计与学报*, 2008, 20(9): 1097-1103.
- [14] MEYER M, DESBRUN M, SCHRODER P, *et al.* Discrete differential-geometry operators for triangulated 2-manifolds [J]. *Visualization and MathMatics*, 2002, 3(2): 52-58.
- [15] ZOU Guang-yu, HUA Jing, DONG Ming, *et al.* Surface matching with salient keypoints in geodesic scale space [J]. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 2008, 19(3-4): 399-410.
- [16] 林金杰, 朱代辉, 杨育彬. 3维模型局部高度研究 [J]. *中国图象图形学报*, 2011, 16(10): 1841-1849.
- [17] Stanford Computer Graphics Laboratory. The stanford 3D scanning repository [EB/OL]. <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>.
- [18] Watertight track of SHREC 2007 [EB/OL]. <http://watertight.ge.imati.cnr.it/>.

(上接第1241页)神经管分割的准确性。实验结果表明,所提出牙弓曲线约束的多水平集主次统计模型的 Levelset 算法有效地解决了复杂的牙颌神经管分割的问题,为口腔临床下颌神经管分割提供了有效的新方法。

参考文献:

- [1] POGREL M A. Damage to the inferior alveolar nerve as the result of root canal therapy [J]. *The Journal of the American Dental Association*, 2007, 138(1): 65-69.
- [2] 杨玲, 侯小叶, 王中科, 等. 局部信息约束的形状导向水平集算法对下颌管的分割 [J]. *中国生物医学工程学报*, 2012, 31(2): 161-166.
- [3] KIM G, LEE J, LEE H, *et al.* Automatic extraction of inferior alveolar nerve canal using feature-enhancing panoramic volume rendering [J]. *IEEE Trans on Technol Biomed*, 2011, 58(2): 253-264.
- [4] 卜令学, 王科, 陈欣, 等. 下颌神经管的解剖结构 (英文) [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(2): 377-380.
- [5] 刘发权, 汪芳, 杨定才, 等. 螺旋 CT 三维重建在磨牙区种植牙手术中的临床应用价值 [J]. *实用口腔医学杂志*, 2013, 29(1): 130-132.
- [6] KONDO T, ONG S H, FOONG K W. Computer-based extraction of the inferior alveolar nerve canal in 3-D space [J]. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2004, 76(3): 181-191.
- [7] YAU H T, LIN Y K, TSOU L S, *et al.* An adaptive region growing method to segment inferior alveolar nerve canal from 3D medical images for dental implant surgery [J]. *Computer-Aided Design and Applications*, 2008, 5(5): 743-752.
- [8] 陈健, 田捷, 薛健, 等. 多速度函数水平集算法及在医学分割中的应用 [J]. *软件学报*, 2007, 18(4): 842-849.
- [9] MALLADI R, SETHIAN J A, VEMURI B C. Shape modeling with front propagation: a level set approach [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(2): 158-175.
- [10] 张慧, 刘伟军. 基于多尺度统计形状模型的 Levelset 分割方法 [J]. *计算机工程*, 2006, 32(7): 191-193.
- [11] 曹宗杰, 闵锐, 庞伶俐, 等. 基于统计模型的变分水平集 SAR 图像分割方法 [J]. *电子与信息学报*, 2008, 30(12): 2862-2866.