

基于内容的 Focus + Context 可视化技术

吴金亮^{1,2}, 刘利刚^{1,2}

(1. 浙江大学 数学系, 杭州 310027; 2. 浙江大学 计算机辅助设计与图形学国家重点实验室, 杭州 310027)

(ligangliu@zju.edu.cn)

摘要: 尽管一些研究通过可视化技术较好地解决了大数据量信息在相对较小的屏幕上的显示问题, 但很少有一种方法可以给用户提供一种直观灵活可控的交互方式。提出一种允许用户随意指定 Focus 区域的方法, 并设计了一个巧妙的能量模型来保持 Focus 区域的细节。为了减少 Context 区域的扭曲, 用户可以指定一个 Glue 区域。通过变形能量的光滑扩散, Focus 区域的扭曲被分布到其他区域。大量实验结果证明, 所提出的方法能极大地改善可视化效果, 帮助用户在较小的屏幕上了解更多信息。

关键词: 信息可视化; 可视化交互界面; Focus + Glue + Context; 鱼眼视图; 显著图; 三角网格; 上下文感知

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Context-aware Focus + Context visualization technique

WU Jin-liang^{1,2}, LIU Li-gang^{1,2}

(1. Department of Mathematics, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China;

2. State Key Laboratory of CAD and Computer Graphics, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027, China)

Abstract: Rendering vast amounts of information on the relatively small screens has become increasingly problematic. Various Focus + Context visualization techniques have been proposed to address these problems. While some of these techniques have provided good results with the various visualization techniques, only a few methods can provide an intuitive and flexible interaction manner for visualization. This paper presented a method which allowed the user to specify an arbitrary polygon for the focus area. A well-designed energy model was proposed to preserve the details in the focused area. To reduce the distortion in the context region, a glue area can also be specified by the user. This distributes the distortion in the focused area to the other region by propagating the deformation energy smoothly. A number of experimental results have demonstrated that the proposed method can largely improve the visualization effects and help users understand much more information on small screens.

Key words: information visualization; visual interactive interface; Focus + Glue + Context; fisheye view; saliency map; triangular mesh; context-aware

0 引言

在查看一张高分辨率图像的局部细节时, 把图像放大, 整张图像将不能完整地显示在屏幕上, 这就是我们必须面对的屏幕资源问题。目前, Focus + Context 研究已经提出了大量的方法来解决这些问题。Focus + Context 的基本想法是让用户不仅可以观察到感兴趣对象的局部细节, 同时可以得到其周围信息的一个整体印象^[1]。在许多可视化系统中, 非线性缩放常常通过指定不同的缩放因子来提供细节和背景信息^[2-4]。对于用户选择的区域指定较大的缩放因子来提供细节信息, 同时背景区域被压缩, 显示较少的细节在屏幕的剩余空间。然而, 在许多非线性缩放方法中, Focus 区域的形状通常被限制为矩形或者圆。虽然一些方法^[5-6]可以产生具有复杂形状的焦点区域, 但它们不能限制扭曲的范围。2008 年, Takahashi^[7]提出了 Focus + Glue + Context 的概念。2009 年, Yamamoto 等人^[8]改进了该方法, 但是他们的方法只能处理 Focus 区域和 Glue 区域是凸多边形或星形多边形的情况, 这严重限制了其应用的灵活性。本文提出了一种新的能量优化

模型来解决 Focus + Context 问题。该模型可以给用户提供更加简单直观的交互方式。首先, 用户可以指定任意的 Focus 区域。当用户想要仔细查看某感兴趣区域时, 只需要用一个任意形状多边形来指定该区域为 Focus 区域。同时, 用户还可以在 Focus 区域外指定一 Glue 区域。这一 Glue 区域处于 Focus 区域和 Context 区域中间, 用来吸收 Focus 放大产生的所有扭曲, 以保持 Context 区域不发生改变。这种方式在许多情况下是很有必要的。同时, 在模型中考虑了图像的细节信息, 通过显著图来检测图像中的重要区域。放大 Focus 区域时, 尽量保持 Focus 区域外特征较明显的区域也不发生扭曲。在具体实现中, 对 Focus 外的区域, 我们让特征明显的区域尽量保持原来的形状, 特征不明显的区域则吸收产生的扭曲, 而不是让扭曲均匀地扩散到其他区域。这样让用户对信息有更好的认知。

起初 Furnas^[2]注意到鱼眼或广角镜可以提供一种新的视图, 它对 Focus 区域显示很多的细节并且距离 Focus 区域越远细节越少。Sarkar 等人^[9]创建了视觉表示的空间重组, 但是这种方法只能提供单焦点并且只能交互相对较小的图表。多视点透视显示^[10]用数学函数来建立 Focus + Context 表示。透

收稿日期: 2010-07-08; 修回日期: 2010-08-11。

基金项目: 国家自然科学基金委员会与微软亚洲研究院联合资助项目(60776799); 国家 973 计划项目(2009CB320801)。

作者简介: 吴金亮(1984-), 男, 河北邢台人, 博士研究生, 主要研究方向: 数字图像处理、计算机图形学; 刘利刚(1975-), 男, 江西吉安人, 副教授, 主要研究方向: 数字几何处理、计算机辅助几何设计、计算机图形学。

视墙^[11]把细节和背景信息光滑地集成在一个弯曲的虚拟墙上,它通过一个中心面板来显示细节、两个透视面板来显示背景。这样产生的可视化支持空间和时间的有效使用。1993 年,这一方法被推广到文档透镜^[12]。1994 年,Leung 等人^[13]就面向扭曲的显示技术做了一个回顾,对面向扭曲的显示技术提出了一个分类体系,并证明了它们之间潜在的关系,提出了一个统一的理论来揭示其共同的理论基础。橡胶板^[14]有一些可取的特点,它可以指定任意封闭的多边形和多兴趣区域并且确保拉伸区域的统一缩放。但是它的两种方法存在严重问题,多边形拉伸方法可以使得细节和背景很光滑地融合,但它不具有鲁棒性。正交拉伸方法正好相反。弯曲曲面^[15]提供了一种基于扭曲的视图工具,它通过使用三维可弯曲曲面来查看大的信息空间,并利用透视投影在显示的不同部分获取不同的放大因子。1996 年,Keahey 等人^[16-17]提出了非线性放大场的概念,它独立于透视投影并能够对网格上每一点的放大函数进行直接的控制。还有很多方法^[10, 16-19]通过变换函数来建立 Focus + Context 视图。

本文把 Focus + Context 看做一个能量扩散问题。目标能量由形变能量和光顺能量两部分组成:形变能量度量每个区域的变形与其限制变换的偏离;光顺能量度量相邻区域变形的差异。本文方法可以给用户提供更简单直观的交互方式,而本文的能量优化模型可以很自然地解决 Focus + Context 问题。

1 用户交互及网格生成

1.1 用户界面

本文为用户提供了一个简单直观的 2D 交互界面。用户通过交互闭合多边形来表达他们的意图。如图 1 所示,用户通过一个多边形来指定感兴趣区域。本文称该多边形为 Focus 多边形,其内部为 Focus 区域,外部为 Context 区域。如果用户要限制 Focus 区域放大的影响范围,他只需要在 Focus 区域外交交互另一多边形作为限制边界。我们称该多边形为 Glue 多边形,Focus 多边形和 Glue 多边形之间的区域为 Glue 区域。这时整个图像被分成了三个区域:Focus 区域、Glue 区域和 Context 区域。需要特别强调的是,Focus 多边形和 Glue 多边形可以是任意形状,并且 Focus 多边形和 Glue 多边形的形状也不需要相同。当用户不指定 Glue 多边形时,则只有 Focus 区域和 Context 区域。

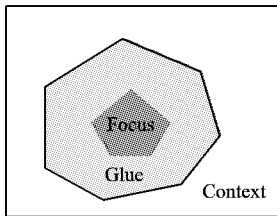


图 1 交互 Focus + Glue + Context 区域

1.2 约束 Delaunay 三角化

当用户交互完成后,以 Focus 多边形和 Glue 多边形的边为限制边,利用约束 Delaunay 三角化来构建三角网格 M_p (图 2)。通过约束 Delaunay 三角化构建三角网格有两个好处。首先,构建的三角网格完全依照用户交互的限制,不会产生横跨不同区域的三角形,每个区域都可以精确地被一些三角形覆盖;其次,每个三角形大小接近,这样可避免因三角形大小不同而产生的变形不均匀。把 M_p 作为该图像的控制网格,通过变形该网格使对应图像产生相应变化。记变形后的网格为

M_q 。 M_p 和 M_q 中的顶点分别记为 $p_i = (p_i^x, p_i^y)^T$ 和 $q_i = (q_i^x, q_i^y)^T (i = 1, 2, \dots, n)$, 其中 n 是网格的顶点个数。三角网格中的三角形集合记为 T , T^F 表示 Focus 区域中三角形集合, T^G 表示 Glue 区域三角形集合, T^C 表示 Context 区域三角形集合。

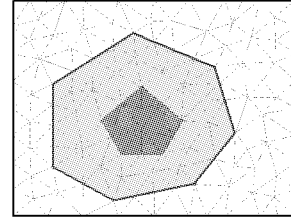


图 2 约束 Delaunay 三角化

本文算法基于三角网格,处理的对象不再是单个的像素而是这些三角形,算法的时间复杂度只与三角形的个数有关,与图像的分辨率没有直接关系。这样可以更灵活地控制算法的运行时间。给定一张较大的图像,可以生成一张稀疏的三角形网格来保证算法的运行效率。

1.3 显著图

不同于以前的算法,本文考虑了图像的细节信息。在 Focus 区域放大时,周边区域肯定要被挤压。在 Focus 区域外,对于那些特征明显的区域,也希望其形状不发生扭曲,只是大小发生改变,而让 Focus 区域外特征不明显的区域来吸收扭曲。这样可以使用户对信息有更好的认知。本文借助显著图^[20]来检测图像中的重要区域。具体实现中,根据显著图对三角形网格 M_p 中每个三角形统计其显著值 δ_i , 据此确定每个三角形形变的权重。

1.4 张量场

当 Focus 区域三角形向外膨胀时,周边区域必然被挤压。本文引入了张量场来指导周边区域三角形的变形。借用了文献[21-23]中张量场的使用。对一张图像,一个张量场 F 是一个光滑的张量值函数,对每一点 p 都有一个二阶张量:

$$F(p) = \begin{bmatrix} x & y \\ z & w \end{bmatrix}$$

本文仅考虑 $y = z$ 和 $w = -x$ 的情况。这样对于每一点的张量 f 具有形式:

$$R \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix}$$

其中 $R \geq 0$ 。 f 有主特征向量 $\left\{ \lambda \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix}, \lambda \neq 0 \right\}$ 和副特征向

量 $\left\{ \lambda \begin{pmatrix} \cos(\theta + \frac{\pi}{2}) \\ \sin(\theta + \frac{\pi}{2}) \end{pmatrix}, \lambda \neq 0 \right\}$, 主副特征向量相互垂直。对

Focus 多边形 $p_0 p_1 \dots p_{n-1} p_n (p_0 = p_n)$ 的每一条边 $p_i p_{i+1}$, 定义它的方向向量 $(w_x, w_y) = (p_{i+1}^x - p_i^x, p_{i+1}^y - p_i^y)$ 。计算 $\rho = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$ 和 $\theta = \arctan(w_y/w_x)$ 。定义基向量场^[21]:

$$F_i(p) = \rho \begin{bmatrix} \cos 2\theta & \sin 2\theta \\ \sin 2\theta & -\cos 2\theta \end{bmatrix}$$

Focus 多边形每一条边都产生一个张量场。这些基张量场互相影响生成最终张量场:

$$F(p) = \sum_{i=0}^{n-1} e^{-d \|p - pm_i\|} F_i(p); pm_i = \frac{p_i + p_{i+1}}{2}$$

其中 d 是衰减因子,用于调节每个基向量场的影响强弱。

根据主副特征向量的垂直性,对于图像中每一点都可建

立一个局部坐标架。特别地,取 $\lambda = 1$ 时的主副特征向量,规定 X 轴沿主特征向量方向, Y 轴沿副特征向量方向。对 Focus 区域外每个三角形,规定其局部坐标架由其中心位置决定。图 3 显示了 Glue 区域三角形局部坐标架。每个局部坐标架与全局坐标架之间都存在一个旋转变换 R_i 。当 Focus 区域膨胀时,指定 Glue 和 Context 区域三角形在其局部坐标架下进行变形。

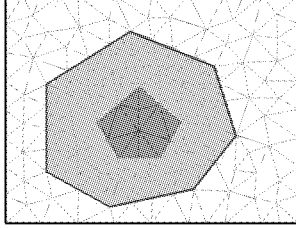


图 3 张量场

2 基于能量的 Focus + Context

受到图像缩放技术^[24-25]的启示,在一张图像上建立控制网格,通过对网格空间的变形来放大感兴趣的区域,同时使其其他区域收缩来填补剩余空间。本文对其进行改进来满足应用需求,通过决定每个三角形的缩放变换来计算变形网格。这些三角形相互邻接,并且缩放因子不同,所以在 Focus 区域放大时,其他区域必然被扭曲。在此计算每个三角形的变换与其限定变换集之间的偏离,累加所有三角形的偏离值作为形变能量。然而当控制网格改变以后,相邻三角形的变形可能差别很大,这会扭曲横跨多个三角形的特征。为此添加光顺能量项来限制相邻三角形的变换。

2.1 形变能量

在对控制网格变形时,我们希望每个三角形只进行缩放,不旋转,避免变形后对象之间相对位置发生改变。为此限定每个三角形的变换矩阵来自如下限制集:

$$S = \left\{ \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & d \end{pmatrix}; 0 < a, 0 < b \right\}$$

其中 a 和 d 为对应于 X 轴和 Y 轴的缩放因子。

每个三角形 $t_p \in M_p$ 对应一个缩放矩阵 $S_t \in S$ 作为目标变换矩阵,具体来讲,对于 Focus 区域三角形,我们指定其目标变换矩阵为:

$$S_t = \begin{bmatrix} \lambda & 0 \\ 0 & \lambda \end{bmatrix}$$

其中 λ 为用户指定的缩放因子。Focus 区域外的其他三角形沿其局部坐标轴缩放。根据每个三角形包含图像细节信息的多少,把 Focus 区域外三角形分为两组。对其中包含细节信息较多的三角形,对应的目标变换矩阵形式如下:

$$H_t = R_t^{-1} S_t R_t = R_t^{-1} \begin{bmatrix} a_t & 0 \\ 0 & a_t \end{bmatrix} R_t$$

其中 R_t 为全局坐标架到对应三角形局部坐标架的变换矩阵,这是为了让具有较多细节的三角形尽可能发生相似变换。对包含细节信息较少的三角形,对应的目标变换矩阵形式如下:

$$L_t = R_t^{-1} S_t R_t = R_t^{-1} \begin{bmatrix} a_t & 0 \\ 0 & b_t \end{bmatrix} R_t$$

其中 R_t 为全局坐标架到对应三角形局部坐标架的变换矩阵,而原始网格中每个三角形 $t_p \in M_p$ 到其变形后三角形 $t_q \in M_q$ 的映射对应一个 2×2 的 Jacobian 矩阵,其对于每个三角形是一个常量。为了表示它对 q 的依赖,记该 Jacobian 矩阵为

$J_t(q)$, 并且 $J_t(q)$ 中的元素线性依赖于 t_q 的顶点。我们根据 Jacobian 矩阵与目标变换矩阵的偏离来定义变形能量:

$$E_m = \sum_{t \in T^F} (k + \sigma_t) \|J_t(q) - S_t\|_F^2 + \sum_{\substack{t \in T^F \\ \delta_t \geq \delta_{TH}}} (k + \sigma_t) \|J_t(q) - H_t\|_F^2 + \sum_{\substack{t \in T^F \\ \delta_t < \delta_{TH}}} (k + \sigma_t) \|J_t(q) - L_t\|_F^2 \quad (1)$$

其中: σ_t 为每个三角形的权重因子; δ_t 为三角形的显著值; δ_{TH} 为显著值的阈值,用于区分 Focus 区域外三角形,即包含细节较多的三角形和包含细节较少的三角形; k 是一小常数,为了避免 σ_t 接近 0 时出现不稳定情况,通常取 $k = 0.001$; $\|\cdot\|_F$ 是 Frobenius 范数。该能量函数度量了每个三角形的形变与指定限制集中元素的偏离。在实现过程中,通过给 Focus 区域三角形加大的权重可以使其完全满足用户对该区域的放大要求。对于 Focus 区域外的三角形,根据其显著值的大小来确定其保形的权重,让包含较少细节的三角形吸收扭曲,而包含较多细节的三角形形状尽量不发生扭曲,只是大小发生改变。

2.2 光顺能量

在大多情况下,都会有一些特征对象占据多个三角形。当相邻三角形的变形差异较大时,这些特征会被严重扭曲,影响用户的认知。因此我们不仅考虑了每个三角形变换与变换限制集的偏离,同时限制相邻三角形的变换差异不能过大。为了让相邻三角形的变形尽可能光顺,我们用 Frobenius 范数来度量相邻三角形变换的差异,以此来设置光顺能量项:

$$E_s = \sum_{\substack{s, t \in T \\ s, t \text{ are adjacent}}} (l + \sigma_{st}) \|S_t - S_s\|_F^2 \quad (2)$$

其中: σ_{st} 是度量相邻变换连续性的权重因子; l 是一小常数,为避免 σ_{st} 接近 0 时出现不稳定情况,通常取 $l = 0.001$ 。

2.3 能量优化模型

目标优化能量为形变能量和光顺能量的加权和:

$$E = E_m + \mu E_s \quad (3)$$

其中 μ 是权重因子,通常设置 $\mu = 1$ 。最小化该能量函数,可得到满足用户要求的最优变形网格 M_q 。

3 算法的实现

由于可以指定 Glue 区域来限制变形的扩散,求解分两种情况:1) 当用户指定了 Glue 区域,在求解中,限制 Glue 多边形位置不变,变形网格的求解限制在 Glue 多边形内部,Glue 多边形外的三角形位置不变;2) 如果没有 Glue 区域,在整个三角网格上进行求解,同时限定图像的边界不动。

3.1 线性求解

依据文献[26]所述,目标能量函数(3)可以被写为关于网格顶点的显式形式。其中:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t \in T^F} \sum_{i=0}^2 (k + \sigma_t) \cot(\theta_t^i) \| (q_t^i - q_t^{i+1}) - S_t(p_t^i - p_t^{i+1}) \|^2 + \frac{1}{2} \sum_{t \in T^F} \sum_{i=0}^2 (k + \sigma_t) \cot(\theta_t^i) \| (q_t^i - q_t^{i+1}) - R_t^{-1} S_t R_t (p_t^i - p_t^{i+1}) \|^2 + \mu \sum_{\substack{s, t \in T \\ s, t \text{ are adjacent}}} (l + \sigma_{st}) \| S_t - S_s \|_F^2$$

其中 θ_t^i 是三角形 t 中与边 (p_t^i, p_t^{i+1}) 相对的角(上标均对 2 取余)。目标能量函数为关于 M_q 的顶点坐标和三角形缩放因子的二次方程,记所有这些未知变量为 z , 求其最小值的问题可转化为求解一个线性方程组 $Az = b$, 其中 A 表示未知顶点位置和三角形缩放因子的系数, b 为联立方程组右边向量。求

解该稀疏线性方程组得到变形后网格顶点的位置。三角形的缩放因子只是辅助未知变量,最终只需要变换后的网格顶点位置。因为只有一个稀疏线性方程组需要求解,本文算法效率很高,可以达到实时的效果。

3.2 翻转处理

线性求解方法对大多数情况均能处理,但当网格中有三角形变形过大时,可能会出现三角形翻转的情况。为此本文采用 Jin^[24] 的方法来避免三角形的翻转。限定变形后的边 $e_{ij}' = q_i q_j$ 与原始的边 $e_{ij} = p_i p_j$ 有相同方向。写成不等式每条边应满足:

$$e_{ij} \cdot e_{ij}' > 0 \quad (4)$$

$$\text{即 } (p_j^x - p_i^x)(q_j^x - q_i^x) + (p_j^y - p_i^y)(q_j^y - q_i^y) > 0 \quad (5)$$

以上限制可以确保锐角三角形不会发生翻转,但对于钝角三角形上述条件还不充分。如图4所示,变形后的三角形 ABC' 的每条边与原始三角形 ABC 的每条边满足方向性限制,但是它翻转了。我们对钝角三角形添加新的限制条件,保持 AB 边上的高 CP 的方向。即对每个钝角三角形 $t = (p_i p_j p_k)$ 其中 $p_i p_j$ 为钝角所对的边。记点 p_k 到边 $p_i p_j$ 的垂足为 $p_k^* = \mu_1^i p_i + \mu_2^j p_j$ 。新的限制条件为:

$$(\mu_1^i p_i^x + \mu_2^j p_j^x - p_k^x)(\mu_1^i q_i^x + \mu_2^j q_j^x - q_k^x) > 0 \quad (6)$$

$$(\mu_1^i p_i^y + \mu_2^j p_j^y - p_k^y)(\mu_1^i q_i^y + \mu_2^j q_j^y - q_k^y) > 0 \quad (7)$$

不等式(5)、(6)和(7)限制了钝角三角形的翻转。目标能量函数(3)是一个凸的二次型,结合以上不等式限制,它构成了一个标准的二次优化问题,全局最优解可以得到。在大部分情况下三角形的翻转可以避免。但当 Focus 区域被放大较大时,如放大后的 Focus 区域超出了边界区域,边界的约束会使三角形发生翻转。但这种情况在应用中一般不会出现。

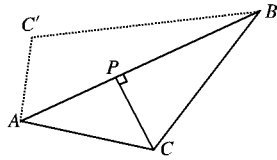


图4 钝角三角形的限制

4 实验结果和讨论

本文使用 Intel MKL^[27] 来求解线性系统,用 CVX Matlab^[28] 工具包来获得二次优化的最优解。三角网格中边的长度平均在 10~30 像素,这依赖于用户的需要,网格越稠密,结果会越光顺;网格越稀疏,运行的时间越短。通常,对于一张 1024×768 的图片线性求解需要的时间为 0~150 ms,二次优化求解需要的时间为 0~10 s。

图5显示了算法的整个流程。图(a)是原始图像,图(b)显示用户的交互内层多边形表示要仔细观察的区域,外层多边形表示对变形的限制,使变形只发生在其内部。图(c)显示了 Glue 区域三角形的局部坐标系,因为 Context 区域没参与计算,在此没有显示其局部坐标系。图(d)是图像对应的显著图。图(e)是变形后的结果,Focus 区域发生相似变换,Glue 区域吸收了所有扭曲,同时 Glue 区域中重要信息没有发生较大扭曲,扭曲大都被 Glue 区域中特征不明显的区域吸收了,Context 区域没有发生变化。图(f)通过变形后的网格更进一步揭示每个区域发生的变形。图6显示了对用户交互的4个不同 Focus 区域放大的结果,充分证明了本文方法的有效性和灵活性。图7显示了对一张动脉瘤图像中较粗血管的放大,并考虑图像细节信息避免对细血管的扭曲。在此没有指定 Glue 区域。通过显著图(图7(d))检测出 Focus 区域外具有较多细节的区域。图7(e)中显示当较粗血管被放大时,较

细血管形状基本保持不变,只是大小发生了改变。扭曲大部分出现在具有较少细节的三角形区域。用户在交互完成之后,可以通过滑杆来调节和改变 Focus 区域的放缩因子 λ 。图8显示了用户调节 λ 后的一系列结果。本文方法在电子地图中也有很大应用。图9显示了本文方法对一条指定线路放大的效果,其中 Focus 区域被均匀放大。图9(a)中用户指定了从一个地点到另一个地点的道路及其周边作为 Focus 区域,并且指定了 Glue 多边形来保持 Context 区域不受影响。图9(b)显示了道路及其周边信息均匀放大后的结果。Yamamoto 等人^[8]的方法达不到这种效果,因为他们严格限制 Focus 区域为凸多边形或星形多边形。

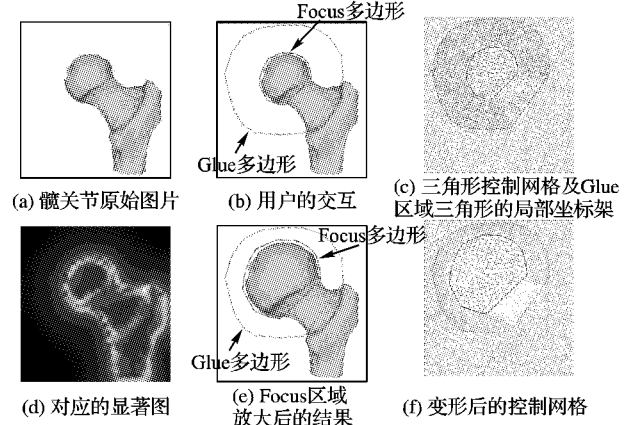


图5 髋关节局部放大结果

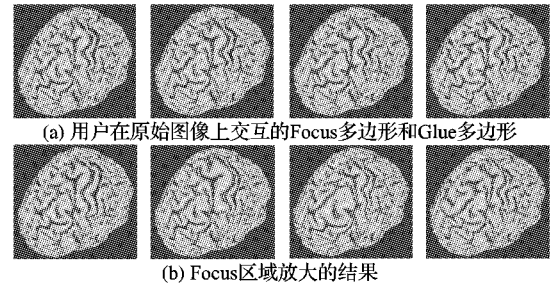


图6 对大脑图像中不同特征区域的放大结果

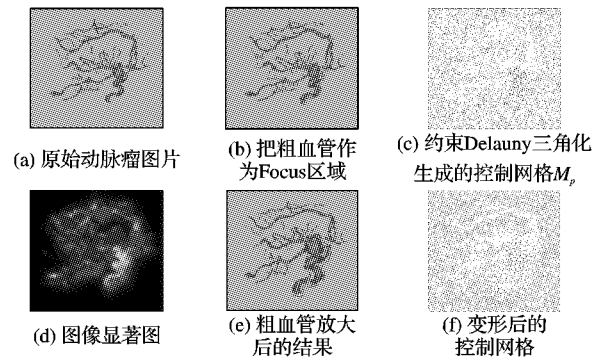


图7 动脉瘤粗血管放大效果

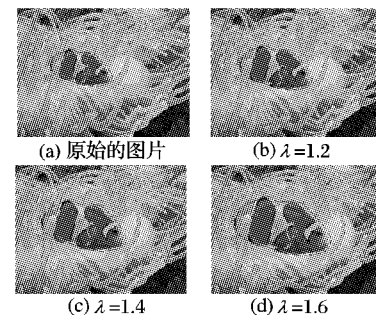


图8 对指定的 Focus 区域通过滑杆调节放缩

5 结语

本文提出了一种新能量优化模型来解决 Focus + Context 问题。我们的目标能量由形变能量和光顺能量两部分组成。形变能量度量每个区域的变形与其限制变换的偏离;光顺能量度量相邻区域变形的差异。本文方法可处理任何形状的 Focus 区域,并且可以实现 Focus 区域的均匀放大,不需要设计复杂的变换函数。通过能量优化的方式,让 Focus 区域放大产生的影响按照能量传播的方式扩散出去,同时可以对这种扩散进行有效的控制和调节。用户可以通过指定 Glue 多边形来限制影响的扩散,这时 Glue 区域将吸收所有扭曲,提供一个不受影响的 Context 区域。本文把图像的细节信息纳入考虑范围,当放大 Focus 区域时,没有让扭曲简单地发生在剩余的区域,而是对 Focus 区域外的三角形,根据其显著值的大小来确定其保形的权重,让包含较少细节的三角形吸收扭曲,而包含较多细节的三角形形状尽量不发生扭曲,只是大小发生改变。这样在 Focus 区域均匀放大的同时,也尽量保持了 Glue 和 Context 区域中特征明显区域的形状。



图9 对用户指定的一条线路及周边信息放大

参考文献:

- [1] InfoVis: Wiki[EB/OL]. [2010-02-15]. <http://www.infovis-wiki.net>.
- [2] FURNAS G. Generalized fisheye views[J]. ACM SIGCHI Bulletin, 1986, 17(4): 16-23.
- [3] LEUNG Y, APPERLEY M A. A review and taxonomy of distortion oriented presentation techniques[J]. ACM Transactions on Computer Human Interaction, 1994, 1(2): 126-160.
- [4] MUNZNER T, GUIMBRETIERE F, TASIRAN S, et al. TreeJuxtaposer: Scalable tree comparison using focus + context with guaranteed visibility[C]// International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM, 2003: 453-462.
- [5] FORMELLA A, KELLER J. Generalized fisheye views of graphs[C]// Proceedings Graph Drawing 1995. Berlin: Springer, 1995: 242-253.
- [6] GUERRA F, BOUTOURA C. An electronic lens on digital tourist city-maps[EB/OL]. [2010-02-15]. http://circe.iuav.it/labfot/download/2001icc_electronic-lens.pdf.
- [7] TAKAHASHI N. An elastic map system with cognitive map-based operations[J]. International Perspectives on Maps and the Internet. Berlin: Springer, 2008: 73-87.
- [8] YAMAMOTO D, OZEKI S, TAKAHASHI N. Focus + Glue + Context: An improved fisheye approach for Web map services[C]// Proceedings of the 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. New York: ACM, 2009: 101-110.
- [9] SARKAR M, BROWN M H. Graphical fisheye views[J]. Communications of the ACM, 1994, 37(12): 73-84.
- [10] MISUE K, SUGIYAMA, K. Multi-viewpoint perspective display methods: Formulation and application to compound digraphs[C]// Human Aspects in Computing: Design and Use of Interactive Systems and Information Management. Netherlands: Elsevier Science, 1991: 834-838.
- [11] MACKINLAY J D, ROBERTSON G G, CARD S K. The perspective wall: Detail and context smoothly integrated[C]// Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: ACM, 1991: 173-180.
- [12] ROBERTSON G, MACKINLAY J D. The document lens[C]// Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 1993: 101-108.
- [13] LEUNG Y K, APPERLEY M D. A review and taxonomy of distortion-oriented presentation techniques[J]. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 1994, 1(2): 126-160.
- [14] SARKAR M, SNIBBE S, TVERSKY O J, et al. Stretching the rubber sheet: A metaphor for viewing large layouts on small screens[C]// Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 1993: 81-91.
- [15] CARPENDALE M S T, COWPERTHWAIT D J, FRACCHIA F D. 3-Dimensional pliable surfaces: For effective presentation of visual information[C]// Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 1995: 217-226.
- [16] KEAHEY T A, ROBERTSON E L. Techniques for non-linear magnification transformations[C]// Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization. New York: IEEE, 1996: 38-45.
- [17] KEAHEY T A, ROBERTSON E L. Nonlinear magnification fields[C]// IEEE Symposium on Information Visualization. New York: IEEE, 1997: 51-58.
- [18] BARTRAM L, HO A, DILL J, et al. The continuous zoom: A constrained fisheye technique for viewing and navigating large information spaces[C]// Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology. New York: ACM, 1995: 207-215.
- [19] SARKAR M, BROWN M H. Graphical fisheye views[J]. Communications of the ACM, 1994: 37(12): 73-84.
- [20] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph-based visual saliency. [2010-02-15]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.70.2254>.
- [21] ZHANG E, HAYS J, TURK G. Interactive tensor field design and visualization on surfaces[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(1): 94-107.
- [22] ZHENG X, PANG A. 2D asymmetric tensor analysis[C]// IEEE Visualization. New York: IEEE, 2005: 1-8.
- [23] CHEN G, MISCHAIKOW K, LARAMEE R S, et al. Vector field editing and periodic orbit extraction using Morse decomposition[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(1): 769-785.
- [24] JIN YONG, LIU LIGANG, WU QINGBAO. Nonhomogeneous scale optimization for realtime image resizing[J]. The Visual Computer, 2010, 26(6/8): 769-778.
- [25] GUO YANWEN, LIU FENG, SHI JIAN, et al. Image retargeting using mesh parametrization[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2009, 11(5): 856-867.
- [26] PINKALL U, POLTHIER K. Computing discrete minimal surface their conjugates[J]. Experimental Mathematics, 1993, 2(1): 15-36.
- [27] Intel math kernel library[EB/OL]. [2010-02-15]. <http://developer.intel.com>
- [28] CVX: Matlab software for disciplined convex programming[EB/OL]. [2010-02-15]. <http://www.stanford.edu/~boyd/cvx>.