

结合线性变换和非线性变换的放大算法研究

张道兵^{1,2,3} 陆见微^{2,3} 张 惠^{2,3} 王宏琦² 刘 波¹

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院电子学研究所, 北京 100080)

(3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 非线性放大能在保持图像上下文关联的情况下对目标进行放大. 利用球面几何模型得到了一种非线性的映射关系, 并通过分析得到了该映射关系在图像变换中可以得到非线性放大的效果. 为了进行有效的观察, 避免感兴趣区域的中心出现变形, 采用结合线性和非线性变换的方法对图像进行放大. 实际应用的结果表明, 该算法不仅可以放大感兴趣区域, 而且能有效的保持上下文的关联关系, 是一种有效的图像放大算法.

关键词 图像处理; 图像放大; 非线性放大; 球面几何

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

0 引言

图像放大是数字图像处理中的一种常见处理技术, 便于我们更有效的观察图像中的感兴趣区域 (AOI, Area of Interesting). 目前常见的放大是针对整个图像或局部区域的线性放大, 即: 在保持图像或局部区域的纵横比的情况下, 将感兴趣区域按统一的比例进行放大. 目前线性放大方法研究的重点在于对放大图像如何进行插值^[1,2]、如何保持良好的视觉效果^[3,4] 以及如何对放大图像的质量进行评定^[5]. 在放大率一定时的情况下, 线性放大具有不扭曲放大效果的优点. 但是当用这些线性放大的算法浏览局部图像, 例如: 对医学图像或遥感图像进行局部观察时, 放大的部分覆盖了周围的图像区域, 因此观察者不得不在大脑中建立一个空间上下文关系以明确观察对象所处的位置, 这给观察者带来了诸多的不便. 另外, 国外有研究者关注非线性放大方法^[6~9], 非线性放大的方法既可以提高图像的局部分辨率, 还可以保持全局上下文关系. 本文将球面几何模型引入到非线性映射中来, 并验证了该非线性的映射关系在图像变换上能得到放大的效果, 最后给出了一个结合线性变换和非线性变换的放大方案.

1 非线性放大的几何模型

鱼镜头可以拍摄较大范围视角内的景物, 它是将景物经过非线性映射映射到一个圆形区域内, 有学者通过建立空间几何模型来试图校正非线性映射产生的变形^[10,11]. 类似地, 希望通过建立几何模型来进行非线性放大的映射. 一个直观的例子是, 在一个橡皮膜下面放一个小球并用该小球挤压该橡

皮膜, 移动该小球时从正上方观察橡皮膜, 橡皮膜的表面随着小球的移动具有局部突出放大的效果. 将生成放大效果的步骤分为两步: 第一步, 橡皮膜随着小球的压力突起, 形成球形的表面; 第二步, 从正上方观察橡皮膜, 相当于将三维结果投影到平面上, 得到了局部放大的效果.

将该过程抽象并建立几何模型, 用几何模型来说明该非线性映射过程也分为两步: 第一步, 将平面上的每一个点 P' 映射为连接 P' 与球心 O 在球面上的交点 P , 如图 1(a); 第二步, 将球面上的每一个点 P 垂直投影到平面上, 得到对应的点 P'' , 如图 1(b).

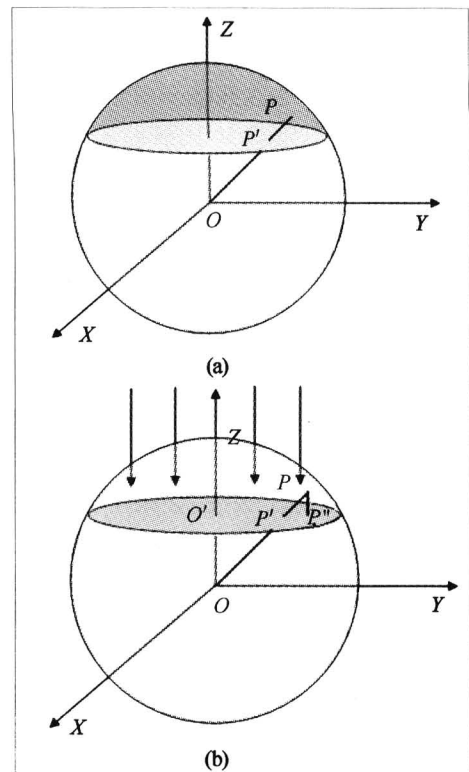


图 1 基于球面模型的非线性映射的两个步骤

Fig. 1 Two steps in nonlinear mapping based on spherical model

假设平面上的圆的半径小于球的半径,则这两个步骤都是可逆的,并且都是单向映射.显然, (O, P', P, P'') 位于同一个平面上.

为简化起见,只考虑归一化的情况,假设球体为单位球.并假设圆形区域距离球心的距离为 d ,相应地,待映射的平面圆形区域中任意一点的坐标为 (x, y, d) . 根据几何关系可知, $\frac{OP'}{OP} = \frac{O'P'}{O'P''}$. 因此 P'' 的坐标为 $(\frac{x}{\sqrt{d^2+x^2+y^2}}, \frac{y}{\sqrt{d^2+x^2+y^2}}, d)$. 只考虑平面上的坐标关系,则坐标为 (x, y) 的点 P' 经变换后得到坐标为 $\frac{(x, y)}{\sqrt{d^2+x^2+y^2}}$ 的点 P'' , 其中: $d \leq \sqrt{d^2+x^2+y^2} \leq 1$.

该映射函数在两个方向上具有对称性. 考察 x 方向上的映射关系 $f(x) = \frac{x}{\sqrt{(d^2+y^2)+x^2}}$. 不难发现,该函数具有如下性质:

1) f 在定义域内是连续的单调函数; 2) f 的值域范围不超过定义域的边界; 3) 在整个定义域上具有连续的斜率,并且在某些区域斜率大于 1,而有些区域斜率小于 1.

根据性质 1) 可知,该映射为可逆映射,并且可以保证映射前后的次序关系不变,对于图像的变换而言,该性质可以保证变换后的图像可以通过逆变换还原,并且变换前后保持了图像像素的位置关系; 性质 2) 保证变换前后的区域大小不发生变化; 性质 3) 保证图像的一部分被放大,而另外一部分被缩小,该性质在图像上表现为在压缩部分内容的情况下局部图像得到了放大. 结合这三条性质可知,用该映射函数对图像进行映射可以限定映射的范围,并得到局部图像放大的效果. 因此,称满足上述三个条件的函数为带边界约束的非线性放大函数.

2 结合线性和非线性变换的放大

前面通过几何模型推导了带边界约束的非线性放大函数需要满足的三个条件,利用这些条件可以构造一系列的函数来得到不同放大效果的映射函数,本文不做深入讨论. 另外,如果利用上述准则分别对两个方向上寻找不同的非线性放大函数,可以得到纵横比不对称的非线性放大的效果. 不过,保持两个方向上的变化一致不会改变观察者对观察对象的整体印象和判断. 因此,本文中选用两个相同的变换函数.

为了观察实际的效果,利用上节得到的映射函数对平面上的网格图像进行变换,并选取网格图像中心作为观察中心,得到放大后的效果如图 2.

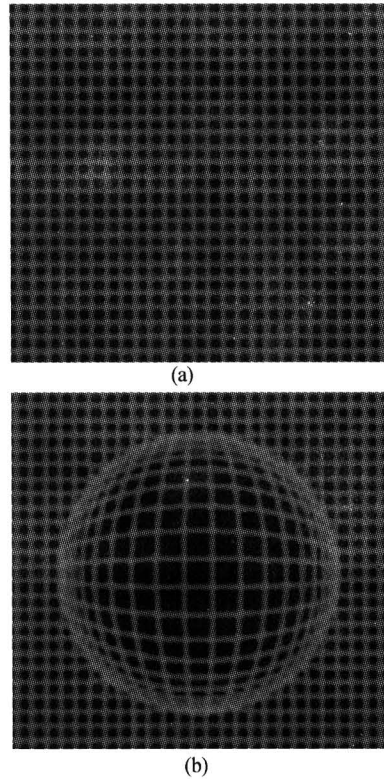


图 2 非线性放大前后的网格图像

Fig. 2 Grid images before(a) and after(b) applying nonlinear magnify

从放大图可以看到,利用非线性放大函数将原图像进行了放大,准确的说,是将观察中心周围的部分进行了放大,而缩小了远离中心的部分,同时观察区域外的图像不受影响. 另外,从图中还可以看到,观察中心周围区域在被放大的同时产生了变形,这给对观察中心的物体进行线性比较带来了困难. 因此,必须综合线性变换和非线性变换的优点,才能得到既保持上下文关系、又放大感兴趣区域的有效观察.

依然采用圆形区域进行边界约束,以圆形区域的圆心为观察区域中心. 将需要放大的观察区域分成两部分:一部分进行线性放大,如图 3(a)中的区域 A,另外一部分进行非线性放大,如图 3(a)中的区域 B. 经过映射,得到放大后的区域分别为 A' 和 B' ,如图 3(b).

观察区域经过映射后,大小保持不变,但是中心区域 A 得到了放大,放大的比例受到边界的限制,即必须保证 $B' \geq 0$. 由于两个方向采用的映射函数相同,则放大率与放大点到中心的距离有关. 因此,在同一个圆上的放大率相同. 当线性变换将区域 A 映射为区域 A' ,而非线性变换将区域 B 映射为区域 B' 时,公共的边界为圆,这保证了无论是线性映射还是非线性映射在该圆形边界上具有相同的放大率,在图像上表现为这两个变换区域有效衔接,没有跳跃和错位现象.

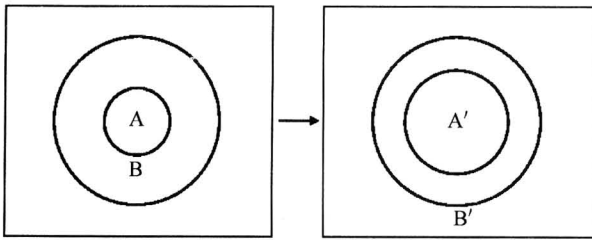


图3 结合线性和非线性变换的区域描述 (b)

Fig. 3 Mapping area illustration for combined transform of linear(a) and nonlinear(b)

3 实验与应用

利用上述的思路, 本文将结合线性和非线性变换的放大算法做成工具进行使用. 对于感兴趣区域, 在其中中心放置该工具可以放大该中心周围的局部区域, 而缩小的区域可以保持良好的空间上下文关系; 移动该工具可以观察不同的区域. 下面给出一个观察卫星遥感^[12,13]图像中的两架飞机的结果如图 4.

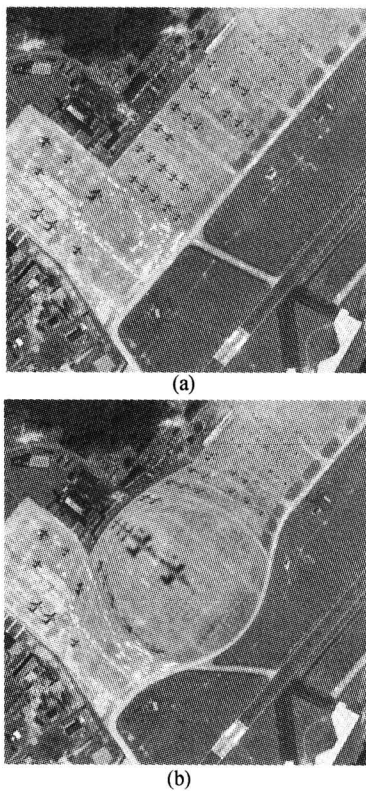


图4 非线性放大前后的图像对比

Fig. 4 Remote sensing images before(a) and after(b) applying nonlinear magnify

从图中可以看出, 想要观察的两架飞机得到了放大, 并且线性放大保持了它们的比例关系, 另外, 它们与周围的机场环境间的关系依然存在. 放大后得到了很好的观察效果, 便于进一步对飞机进行分析和标注.

需要说明的是, 前面的模型是在连续情况下分析的, 将该模型应用到具有离散特点的数字图像时,

需要注意一些执行的细节. 对数字图像进行放大时并不是直接将原图像的像素点通过映射关系映射到对应的结果图像中去, 而是根据放大后的图像点反过来查找对应在原图像中的精确位置. 由于得到的精确位置大多精确到小数位, 而不是原图像中的整数格点, 因此必须进行插值得到原图像精确位置的灰度值. 经典的插值方法有: 最近邻插值算法, 双线性插值算法, 立方插值算法, 其中双线性插值方法是一种折中的方法, 它能在满足一定准确度的要求的情况下又不至于太慢. 本文中的实验选用的是双线性插值方法进行插值.

4 结论

本文给出的结合线性和非线性变换对图像进行放大的算法是在结合线性变换和非线性变换优点的基础上得到的, 实验结果表明, 应用该算法可以对局部图像进行有效的观察: 不仅可以放大感兴趣区域, 而且能有效的保持上下文关系, 是一种有效的非线性放大算法.

另外, 利用本文给出的条件推导各种不同性能的非线性映射函数有待于进一步的研究, 并且不同的插值方法对于变换后图像的质量和算法速度的影响也需要进一步的定量分析和研究.

参考文献

- 孙庆杰, 张晓鹏, 吴恩华. 一种基于插值曲面的图像放大方法图像缩放的分片连续算法. 软件学报, 1999, **10**(6): 570~574
Sun Q J, Zhang X P, Wu E H. *Journal of Software*, 1999, **10**(6): 570~574
- 胡敏, 张佑生. Newton-Thiele 插值方法在图像放大中的应用研究. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, **15**(8): 1004~1007
Hu M, Zhang Y S. *Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics*, 2003, **15**(8): 1004~1007
- 吴良武, 欧宗瑛. 保持轮廓清晰光滑的灰度图像放大算法. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, **14**(4): 306~309
Wu L W, Ou Z Y. *Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics*, 2002, **14**(4): 306~309
- 李将云, 杨勋年, 汪国昭. 图像放大的分片连续算法. 浙江大学学报, 2002, **29**(5): 530~534
Li J Y, Yang X N, Wang G Z. *Journal of Zhejiang University (Science Edition)*, 2002, **29**(5): 530~534
- 吴援明, 梁恩志. 一种基于熵的放大后图像质量的评价方法. 信号处理, 2004, **20**(2): 201~203
Wu Y M, Liang E Z. *Signal Processing*, 2004, **20**(2): 201~203
- Furnas G W. Generalized Fisheye Views. In Proceedings

- of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI'86),1986,16~23
- 7 Sarkar M, Brown M H. Graphical fisheye views. *Communication of the ACM*,1994,**37**(12):73~84
- 8 Keahey T A,Robertson E L. Techniques for non-linear magnification transforms. In Proceeding of the IEEE Symposium on Information Visualization, IEEE Visualization,1996,38~45
- 9 Keahey T A. Nonlinear magnification [PhD Thesis], Department of Computer Science, Indiana University, 1997
- 10 英向华,胡占义.一种基于球面透视投影约束的鱼镜头校正方法.计算机学报,2003,**26**(12):1702~1708
Ying X H, Hu Z Y. *Chinese Journal of Computers*, 2003,**26**(12):1702~1708
- 11 黄有度,苏化明.一种鱼眼图象到透视投影图象的变换模型.系统仿真学报,2005,**17**(1):29~32
Huang Y D, Su H M. *Journal of System Simulation*, 2005,**17**(1):29~32
- 12 李峰,胡岩峰,曾志明,等.一种遥感影像基于内容检索模型的研究与设计.光子学报,2004,**33**(12):1522~1525
Li F, H Y F, Zeng Z M, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004,**33**(12):1522~1525
- 13 胡岩峰,刘波,李峰,等.一种基于统计分析的图像变化检测方法.光子学报,2005,**34**(1):146~149
Hu Y F, Liu B, Li F, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005,**34**(1):146~149

Research of Magnify Method based on Linear and Nonlinear Transform

Zhang Daobing^{1,2,3}, Lu Jianwei^{2,3}, Zhang Hui^{2,3}, Wang Hongqi², Liu Bo¹

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

² Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

³ Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Received date:2005-07-05

Abstract Nonlinear magnify can zoom in objects with global context. A nonlinear mapping function based on spherical geometry model is used and nonlinear image magnify can be achieved by this mapping function in image transform. For better viewing and to avoid distortion in the center of the viewing area, linear transform and nonlinear transform are combined. The results verify that it is an effective way to magnify image with keeping both local detail and global context.

Keywords Image processing; Nonlinear magnify; Image magnify; Spherical geometry



Zhang Daobing was born in February of 1978. He received M. S. degree from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanical of CAS in 2004. And now he is pursuing his Doctor degree with research interest in Remote Sensing Image Proceesing.