

保留边缘信息的静态数字图象超分辨率重建

郭坡¹⁾ 彭思龙²⁾ 余达太¹⁾ 孙昌国¹⁾

¹⁾(北京大学信息工程学院, 北京 100083) ²⁾(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

摘要 插补方法是图象超分辨率(super-resolution)技术的一个重要方面. 插补处理后, 数字图象的视觉质量主要依赖于图象轮廓边缘的两个因素: (1) 跨越边缘方向的灰度值变化比较尖锐; (2) 沿边缘方向的灰度值变化比较平滑. 着重考虑以上两个因素, 提出了一种新的插补方法, 以获得清晰的图象边缘, 从而获得较好的数字图象放大效果.

关键词 计算机图象处理(520·6040) 边缘检测 保持边缘信息 保护边缘

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)06-0653-04

Edge Information Retained Super-resolution Restoration for Still Image

GUO Po¹⁾, PENG Si-long²⁾, YU Da-tai¹⁾, SUN Chang-guo¹⁾

¹⁾(Institute of Information Engineering University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083)

²⁾(Institute of Automation Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract Interpolation is an important method for super-resolution technology. We believe that visual quality of an interpolated image mainly depends on two factors of an edge profile: (1) The gray value across the edge orientation is sharp; (2) The gray value along the edge orientation is smooth. For this reason, we propose a new interpolation method in this paper. Firstly, we detect the edge using Canny operator and interpolate along the edge. Secondly, we retain edge information of the original image by retaining pixels abutting against the edge in low-resolution image abut against the edge in high-resolution image and we smooth along pixels abutting against the edge in high-resolution image for protecting edge information. Thirdly, we process the smooth region. Finally, we interpolate pixels between the pixel abutting against the edge and smooth region. By this method, we can create a clear edge image and therefore obtain a better magnified digital image.

Keywords Computer image processing, Edge-detection, Retain edge information, Protect edge information

0 引言

所谓图象超分辨率重建就是: 从给定的一个或多个低分辨率图象(静态或动态图象序列)得出一个高分辨率图象(或图象序列)^[1]. 为了克服物理上的困难, 如分辨率极限、成本等, 进而达到更好的视觉效果, 使用图象的超分辨率技术可以从一个低分辨率的图象获得一个较高分辨率的图象. 因此, 图象的超分辨率技术主要应用在中分辨率处理或者高分辨率处理过程中. 例如, 应用于 MPEG-2 的空间可缩放功能和基于分解的多尺度图象处理技术中. 此外, 在对高分辨率图象处理的应用软件中, 例如, 数字 HDTV、航空照片、医学图象、遥感图片、数码相机、

新闻图片生成、合成孔径雷达数据处理(SAR)、超高分辨率光学显微镜成像以及军用图片的处理软件中, 都应用了高分辨率图象插补算法. 近年来, 图象插补算法还被用于改变各种类型图象和影像的格式和提高图象的分辨率.












传统的插值算法, 包括最近邻插值、双线性插值、基于样条的插值以及基于 DFT 的插值等算法, 可以分为信号合成与基于功能的重建两大类, 这些算法主要关注于图象尺寸的增大, 所以在某些特殊应用场所得不到令人满意的效果^[2].

最近的一些新算法, 如有指导的新边缘差值算法^[3]和数字图象局部自适应放大算法^[4]得到的放大效果都比传统的插值算法要好. 有指导的新边缘差值算法的基本思想是, 首先计算低分辨率图象

的各像素点与其相邻像素点的协方差特性,然后利用几何的相似性性质,来计算放大后图象的插入像素点的值.这种算法对于图象的细节放大有良好的效果,但是此算法计算量大,而且对于阶跃型边缘的处理效果不是很理想;数字图象局部自适应放大算法的基本思想是,根据梯度控制边缘方向,进行加权插值.此算法比较简单,其边缘方向的判别种类有限,并且插值只是简单的平均,尤其在边缘附近,插值点与边缘相关,必然造成边缘模糊.

为此,提出一种新的方法,即在保持原始图象边缘信息的基础上进行图象插补.

对图象及像素点定义数学符号和其相应的图标符号如下:

- ① 原始图象用 I 表示.
- ② 放大图象用 E 表示.
- ③ 边缘像素点用图标  来表示.
- ④ 非边缘点用图标  来表示.
- ⑤ 原始图象靠近边缘的像素点用图标  来表示.
- ⑥ 放大图象上沿边缘的插值点用图标  来表示.
- ⑦ 放大图象中,两平移像素点中间的插值像素点用图标  表示.
- ⑧ 平滑区域像素点用图标  来表示.当然  和  也属于非边缘像素点.
- ⑨ 未分配的像素点用图标  来表示.
- ⑩ 在两个  之间的插值像素用图标  来表示.

1 主要步骤及结果

(1) 图象的边缘检测

图象的边缘是图象的最基本特征.所谓边缘是指其周围像素灰度有阶跃变化或屋顶变化的那些像素的集合^[6].由于对数字图象进行插补放大处理的视觉质量主要依赖于图象轮廓边缘,因此所论述的是如何对图象的边缘及与边缘接近的像素点进行插补的问题.为了获得更好的试验结果,采取了 Canny 边缘检测算法^[8],Canny 算子在使用时要给它提供一些参数,用于控制算法的性能,对于不同的图象或不同的边缘提取目的,应该提供不同的参数,以达到最佳效果.

(2) 保持边缘信息

所谓边缘信息即指跨越边缘方向的灰度值变化情况和沿边缘方向的灰度值变化情况.通过以下步骤即可保持边缘信息.将原始图象的边缘情况分解为图 1 所示的 16 种情况.

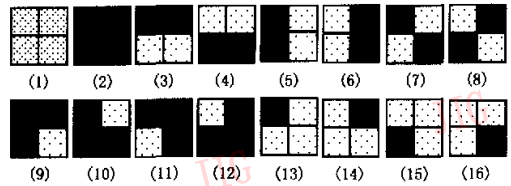


图 1 16 种图象边缘

在进行放大处理过程中,原图象边缘像素点对应到放大图象中,而原图象中靠近边缘的非边缘点作相应的平移,移动到放大图象边缘像素点的周围.同时沿放大图象的边缘像素点进行插值处理.对于第 1 种情况暂时不作处理,对第 3 种情况所作处理如图 2 所示.

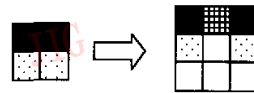


图 2 沿边缘插值及移动靠近边缘的非边缘像素点

通过以上的步骤就可以使放大的图象边缘信息保持原图象的边缘信息.

(3) 保护边缘信息


所谓保护边缘信息指的是将放大图象中经过插补的边缘用一个沿着边缘方向两侧的一系列像素点将边缘封闭,就像在边缘两侧形成一个保护膜.经过第 1 步的处理可以看出,只需要对图 1 中的 3、4、5、6 4 种边缘情况对它们的中心点进行插补,图 3 所示为第 3 种边缘情况对中心点的插值,其插值等于两个  像素点的平均值.此时只需要简单地作平均处理即可.这样做的结果也就实现了沿边缘方向两侧的灰度值变化比较平滑.保护边缘信息的目的是为了在以后的插补计算中,对插补像素点的计算不涉及到边缘像素点.这样会使放大图象的灰度变化平滑,而且不会在边缘附近引进噪声.



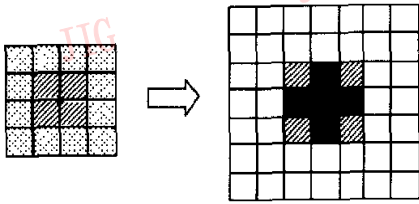
图 3 保护边缘信息

(4) 与边缘不相接触的平滑区处理

所谓与边缘不相接触的平滑区是指在原始图象中 4×4 局部区域没有边缘点,这时只对其中心的 2×2 区域进行处理.将其原始图象中平滑区像素点映射到放大图象上并作插值处理,如图 4 所示.

(5) 平移的非边缘像素点与平滑区域的过渡处理

通过以上步骤的处理,将非边缘像素点平移到



(a) 4×4 无边像局部 (b) 2×2 区域中心插值
图 4 与边缘不相接触的平滑区处理

边缘两侧,不但保持了原始图象的边缘信息,并且可以看出,所有的边缘像素点都被包围起来了,以下处理过程将不触及边缘像素点,这样处理是为了保护边缘信息不被插值点破坏。

现在考虑到未分配的点是 15 种情况(除去第 1 种情况)中的非边缘点和那些不满足在步骤 3 中的与边缘相接触的平滑区域的像素点。这些未分配的点又可以分为两种情况,第 1 种是与平滑区相接近,第 2 种是与图象的边缘相接近。与平滑区相接近的未分配像素点,可以以 1/3 的两点灰度值之差,沿着在第 1 步中的非边缘点的移动方向向平滑区过渡,这样每次插补两个点。例如对于第 3 种边缘情况,假设放大图象中左上角的像素点的值为 $E(i, j)$,若检测到 $E(i+4, j)$ 点在平滑区(如图 5 所示)。

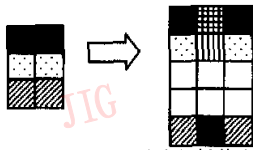


图 5 向平滑区过渡的插值点

则可以得到

$$E(i+2, j) = E(i+1, j) + [E(i+4, j) - E(i+1, j)]/3$$

$$E(i+3, j) = E(i+4, j) + [E(i+1, j) - E(i+4, j)]/3$$

这样就实现了边缘向平滑区域的平滑过渡。

(6) 未分配点在边缘密集区域的处理

对于在边缘密集区域尚未分配的像素点,主要是根据第 2 步骤中移动方向进行判断和处理,即沿其移动的反方向查找第 2 个像素点的值,这个值会有两种情况:第 1 种情况,它就是一个边缘点,这说明插值点在两个边缘之间(紧靠两边缘),要不在斜坡边缘的顶或底上,要不就是在边缘上,所以赋予插值点的值为原始图象上对应点的像素值;第 2 种情况是它还没有赋值,这说明插值点不是紧紧夹在两边缘之间,所以可以将原始图象中对应的像素点的像素值赋予这个点,然后对插值的点进行 1/3 增量式赋值。

如图 5 所示,如果 $E(i+4, j)$ 是边缘点,则

$$E(i+2, j) = I((i+2)/2, j/2)$$

如果 $E(i+4, j)$ 没有赋值,则

$$E(i-4, j) = I((i+4)/2, j/2)$$

$$E(i+2, j) = E(i+1, j) + [E(i+4, j) - E(i+1, j)]/3$$

$$E(i+3, j) = E(i+4, j) + [E(i+1, j) - E(i+4, j)]/3$$

式中, I 表示原始图象, E 表示放大图象。

(7) 填补其余未分配的像素点

通过以上的处理,可以看出,对于图 1 的 16 种情况,对应到放大图象上 $E(i, j), E(i+2, j), E(i, j+2), E(i+2, j+2)$ 4 个像素点都已经赋了值,最后在图象中查找未赋值的像素点 $E(i, j+1), E(i+1, j), E(i+1, j+1), E(i+1, j+2), E(i+2, j+1)$,对这些像素点进行赋值:

$$E(i, j+1) = [E(i, j) + E(i, j+2)]/2$$

$$E(i+1, j) = [E(i, j) + E(i+2, j)]/2$$

$$E(i+1, j+1) = [E(i, j) + E(i+2, j) + E(i, j+2) + E(i+2, j+2)]/4$$

$$E(i+1, j+2) = [E(i, j+2) + E(i+2, j+2)]/2$$

$$E(i+2, j+1) = [E(i+2, j) + E(i+2, j+2)]/2$$

图 6 为以上处理步骤的结果及与传统插值的比较。

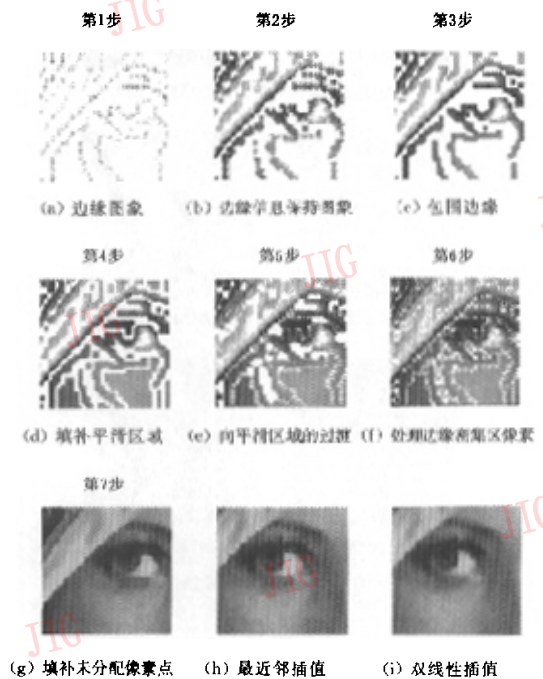


图 6 处理步骤结果及与传统插值的比较

2 结 论

本文所述的处理方法是以图象的边缘信息为一幅图象的主要信息作为依据,在沿边缘方向插值的同时,对边缘两侧的像素进行了沿边缘方向的平滑处理,并且考虑了向平滑区域和边缘区域的过渡处理,取得了较好的效果.图 7 显示了本文算法与其他两种处理方法的对比.但是算法同时也存在着不足,这就是要求原始图象的边缘信息比较完整,并且要求 CANNY 检测的边缘平滑,尤其是在边缘密集区域,CANNY 检测会失去细节信息.在以后的研究中,有待处理的就是对 CANNY 所检测的边缘进行一些平滑处理和对图象纹理信息的获取.



图 7 本文算法与其他算法的比较

参 考 文 献

1 Sean Borman, Robert L. Stevenson, super-resolution from image sequences--A review [A]. In: Midwest Symposium on

Circuits and Systems [C], Notre Dame, Indiana, 1998:374~378.

2 Jeong Ho Shin, Joon Shik Yoon, Joon Ki Paik. Image fusion-based adaptive regularization for image expansion [J]. SPIE Image, Video Comm., Proc., 2000,3974:1040.

3 Li Xin, Orchard Michael T. New edge directed interpolation [J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2001,10(1):1521~1527.

4 Battiato S, Gallo G, Stanco F. A locally-adaptive zooming algorithm for digital images [J]. Image Vision and Computing Journal, 2001,10(10):1521~1527.

5 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,2001:181~182.

6 Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6):679~698.



郭 坡 1973 年生,北京科技大学信息工程系硕士研究生. 主要研究方向数字图象处理.



彭思龙 1971 年生,研究员,获中科院数学所基础数学专业理学博士学位. 主要研究领域为小波分析、图象处理、模式识别、积分方程数值解. 发表论文 30 余篇,专著 1 本.



余达太 1946 年生,教授,博士生导师,日本九州工业大学研究生院获日本自动控制专业工学硕士学位. 主要研究领域为自动控制理论、机器人系统理论、机器人控制技术及其智能技术. 发表论文 50 余篇,专著 3 本.



孙昌国 1958 年生,副教授,北京科技大学获控制理论与控制工程博士学位. 主要研究方向为机器人学、控制工程、电机控制理论. 发表论文 10 余篇.