

一种骨科 X 线片的混合图像增强算法

钟 科,潘保昌,郑胜林,梁 坚

(广东工业大学 信息工程学院 数字图像技术研究所,广东 广州 510006)

摘 要:为了改善骨科 X 线片的清晰度,增强其对比度,突出骨骼的细节及边缘,文中提出了一种有效的混合图像增强算法。该算法首先用拉普拉斯变换突出图像的细节,用梯度法突出其边缘,接着用平滑过的梯度图像掩蔽拉普拉斯图像,再经过二阶巴特沃思高通滤波和高频加强滤波后得到锐化图像,最后经过灰度变换得到最终的增强图像。实验结果表明该算法比传统的采用单一算法如灰度变换、直方图均衡化或对比度自适应直方图均衡化的效果更好。

关键词:骨科 X 线片;图像增强;锐化;灰度变换

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)06-0124-03

A Mixed Algorithm for Orthopedic X-Ray Image Enhancement

ZHONG Ke, PAN Bao-chang, ZHENG Sheng-lin, LIANG Jian

(Institute of Digital Image Technology, Faculty of Information Engineering,

Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In order to improve the definition of the Orthopedic X-ray image, enhance its contrast and highlight the details and edge of the bones, an effective and mixed algorithm for image enhancement is presented in this paper. Firstly, Laplace transform was used to stress the image details and Gradient Method was used to stress the image edge in the algorithm. Secondly, the Gradient image after smoothing processing was used to mask the Laplace image, and then the sharpening image was got by Second Order Butterworth High Pass Filter and High Frequency Emphasis Filter. Finally, the enhanced image was got by gray level transformation. the experiment result proves that the algorithm is better than the traditional algorithms used gray level transformation, histogram equalization or contrast-limited adaptive histogram equalization lonely.

Key words: orthopedic X-ray image; image enhancement; sharpening; gray level transformation

0 引 言

随着年龄的增长,大量的中老年人都会患骨科病,例如颈椎病、腰椎病、骨关节病等,病人去医院、诊所就诊时,一般情况下都会先对患病部位进行 X 线拍片。由于 X 线的成像机理不同于一般的摄像,它是利用物体表面对光的吸收原理,因不同部位的骨质密度不同而对 X 线的吸收程度不同而形成的,并且存在着采集设备、显示设备等因素的影响,造成骨科 X 线图像具有噪声高、重叠度大、软硬组织灰度差值较小;动态范围宽、数据量大、细节丰富、灰度级数复杂、对比度低等特点^[1],这些因素给骨科病的相关病情的诊断带来了

难度,严重影响医学诊断。因此,对骨科 X 线片进行图像增强处理的研究及运用来提高诊断的准确性,提高诊断效率有着十分现实的重要意义。

图像增强是图像处理的一个重要分支,目的是用来提高图像的视觉效果,提高低对比度图像的质量,扩大目标与背景之间的灰度差值^[2]。经实验验证,对骨科 X 线片使用传统单一的图像特征增强方法,如灰度变换、直方图均衡化^[3]、对比度自适应直方图均衡化^[4]等方法,增强效果并不好。

针对骨科 X 线片的图像特点,提出了一种有效的混合增强的算法,在空间域和频域上对图片进行混合增强。在空间域上,用拉普拉斯变换突出图像的细节,用梯度法突出其边缘,接着用平滑过的梯度图像掩蔽拉普拉斯图像;在频域上,经过二阶巴特沃思高通滤波和高频加强滤波后得到锐化图像,最后经过灰度变换得到最终的增强图像。该算法在改善图像清晰度的同时抑制了背景,增强了对比度,突出了骨骼的细节和边缘,完成了复杂的增强任务。

收稿日期:2008-09-18;修回日期:2008-12-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60572078)

作者简介:钟 科(1983-),男,广东梅州人,硕士研究生,研究方向为数字图像处理与模式识别;潘保昌,教授,博导,研究方向为图文识别技术与系统;郑胜林,教授,硕导,研究方向为图像信息技术与应用。

1 骨科X线片的混合图像增强算法设计

1.1 拉普拉斯变换

由于骨科X线片的动态范围很宽,而且伴随着很高的噪声,所以很难对其进行增强,为突出图像的细节,首先对图像进行拉普拉斯变换。

一个二元图像 $f(x, y)$ 的拉普拉斯变换定义为:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

因为有两个变量,因此,这一方程的离散形式在 x 方向上对二阶偏微分采用如下定义:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y) \quad (2)$$

在 y 方向上为:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y) \quad (3)$$

式(1)中的二维拉普拉斯数字实现为:

$$\nabla^2 f = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y) \quad (4)$$

公式(4)可以由图1(a)所示的掩模来实现,对角线方向加入到离散拉普拉斯变换的定义中只需在公式(4)中添入两项,即对角线方向各加一个,所以应从不同方向的项中总共应减去 $8f(x, y)$,如图1(b)所示的掩模即文中所用的掩模。

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

(a)

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

(b)

图1 拉普拉斯掩模

拉普拉斯算子的应用强调图像中灰度的突变及降低灰度慢变化的区域,这将产生一幅把图像中的浅灰色边缘和突变点叠加到暗背景中的图像。因为所使用的掩模具有负的中心系数,将原始图像减去经拉普拉斯变换后的图像如式(5),可以保护拉普拉斯锐化处理的效果同时又能复原背景信息。

$$g(x, y) = f(x, y) - \nabla^2 f(x, y) \quad (5)$$

1.2 梯度变换

拉普拉斯变换在图像细节的增强处理方面有明显的优点,但拉普拉斯变换与梯度变换相比会产生更多的噪声。梯度变换在灰度变化的区域(灰度斜坡或阶梯)的响应比拉普拉斯变换更强烈,而梯度变换对噪声和细节的响应要比拉普拉斯变换弱,而且可以通过均值滤波器对其进行平滑处理而进一步降低。

在图像处理中,一阶微分是通过梯度法实现的。图像 $f(x, y)$ 在位置 (x, y) 的梯度定义为:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (6)$$

这个向量的模值由下式给出:

$$|\nabla f| = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

在实际操作中,常用绝对值代替平方与开方运算近似求梯度的模值:

$$|\nabla f| \approx |G_x| + |G_y| \quad (8)$$

这里采用的是 Sobel 梯度算子,所用的掩模如图2所示。

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

图2 梯度掩模

在中心点 z_5 使用绝对值并使用 3×3 的掩模的近似结果为:

$$|\nabla f| \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)| \quad (9)$$

在 3×3 图像区域中,第三行与第一行间的差接近于 x 方向上的微分,同样,第三列与第一列间的差接近于 y 方向上的微分。使用权重 2 的思想是通过突出中心点的作用而达到平滑的目的。物体的边缘总是以强度突变形式出现的^[5],原图经过 Sobel 梯度变换后,此时 Sobel 图像的边缘要比拉普拉斯图像的边缘突出很多,再经过 5×5 的均值滤波器进行平滑处理后,图像的噪声进一步地降低了。

接着将经过平滑处理的梯度图像与拉普拉斯图像相乘,并将乘积图像与原始图像相加。将一个平滑后的梯度图像掩蔽拉普拉斯变换图像不但突出了边缘而且使可见的噪声大大地减少。

1.3 巴特沃思高通滤波与高频加强滤波

滤波是图像处理中的一个非常重要的环节^[6],滤波时既要考虑有效地抑制噪声,又要减少信息失真和处理前后图像偏差的问题^[7]。

由于X光图像不能像光学透镜那样聚焦,所以拍出的骨科X线片比较模糊。在频域上,使用低通滤波会使图像变得更加模糊,但使用高通滤波通过削弱傅里叶变换的低频而保持高频相对不变,从而使得图像变得更加清晰(锐化)。

n 阶截止频率距原点为 D_0 的巴特沃思高通滤波器^[8]的传递函数由下式给出:

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + [D_0/D(u, v)]^{2n}} \quad (10)$$

其中

$$D(u, v) = [(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2]^{1/2} \quad (11)$$

图像的尺寸为 $M \times N$, $D(u, v)$ 是从点 (u, v) 到傅里叶变换中心(原点)的距离。文中使用的是二阶巴特沃思高通滤波器对图进行滤波, D_0 的值等于已填充图像垂直尺寸的 5%。

高频加强滤波可使一幅图像的高频成分强调增强, 这对骨科 X 线片也大有益处。在高通滤波器前简单地乘以一个常数, 再增加一个偏移, 以使零频率不被滤波器除掉。高频加强的传递函数如下式:

$$H_{he}(u, v) = a + bH_{hp}(u, v) \quad (12)$$

其中, $a \geq 0$ 且 $b > a$ 。而 a 的典型值在 0.25 到 0.5 之间, b 的典型值在 1.5 到 2.0 之间, 文中 $a = 0.5$ 且 $b = 2.0$ 。

经过巴特沃思高通滤波与高频加强滤波后, 显示了图像中微弱的主要边缘, 虽然图像会变暗, 但灰度级色调由于低频分量的保持而没有丢失。

1.4 灰度变换

由于图像经过巴特沃思高通滤波与高频加强滤波后变得较暗, 为改变图像的亮度及对比度, 所以采用灰度变换。灰度变换是最简单的但最有效的对比度增强方法, 它是将原图像的灰度函数经过一个变换函数换成一个新的图像函数, 设 $g(x, y)$ 是变换后的图像, 则:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (13)$$

灰度变换方法主要有三种: 线性、分段线性和非线性变换^[9]。文中采用线性变换, 设原图像 $f(x, y)$ 的灰度范围是 $[a, b]$, 变换后图像 $g(x, y)$ 的灰度范围扩大到 $[m, n]$, 下述线性变换可扩大灰度范围:

$$g(x, y) = \begin{cases} \frac{(n-m)[f(x, y)-a]}{(b-a)} + m & a \leq f(x, y) \leq b \\ m & f(x, y) < a \\ n & f(x, y) > b \end{cases} \quad (14)$$

经过巴特沃思高通滤波与高频加强滤波后, 图像的目标区域的灰度基本上集中在区间 $[0.1, 0.4]$, 文中令 $a = 0.1, b = 0.4, m = 0, n = 1$, 经灰度变换后不但突出了目标区域而相对抑制了背景区域, 而且改变了图像的亮度。

2 实验结果及对比

文中对大量患者脚底、膝关节、腰椎、颈椎的 X 线片分别进行了图像增强的实验, 都达到了较好的效果。图 3 (a) 为腰椎 X 线片的灰度图。原图经过拉普拉斯

变换得到拉普拉斯图像, 将经过平滑处理的梯度图像与拉普拉斯图像相乘, 并将乘积图像与原图相加得到图 3 (b) 的掩蔽图; 掩蔽图经过二阶巴特沃思高通滤波与高频加强滤波后得到图 3 (c) 的滤波图; 滤波图经过灰度变换后得到最终的增强图像即图 3 (d)。结果图与原始图像相比, 图像清晰了, 噪声减少了, 同时背景得到了抑制, 增强了对比度, 突出了骨骼的细节和边缘, 完成了复杂的增强任务, 达到了较好的效果。

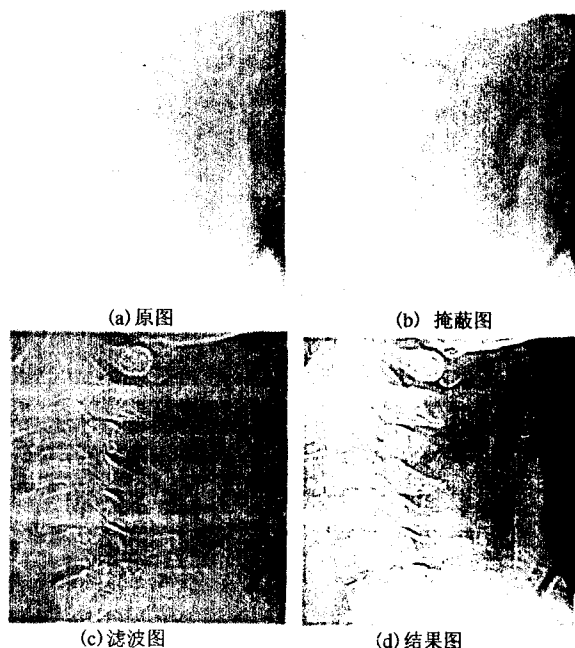


图 3 实验结果

此外还将文中算法与传统的算法进行了比较, 如图 4 所示, 对比这四种效果图, 可看出传统的采用单一算法如灰度变换、直方图均衡化或对比度自适应直方图均衡化对骨科 X 线片的增强效果并不好, 从而体现出文中针对图像特点采用混合增强算法的优越性。

3 结束语

文中根据骨科 X 线片的图像特点, 提出了一种有效的混合图像增强算法。实验结果表明, 本算法在改善图像清晰度的同时抑制了背景, 增强了对比度, 突出了骨骼的细节和边缘, 完成了复杂的增强任务, 比传统使用单一增强算法的效果好。

文中笔者创新点: 提出了一种有效的混合图像增强算法, 该算法在空间域和频域上对骨科 X 线片进行混合增强, 经过平滑处理的梯度图像与拉普拉斯图像相乘, 并将乘积图像与原图相加得到锐化图像, 再经过二阶巴特沃思高通滤波与高频加强滤波后进行灰度变换得到最终的增强图像。

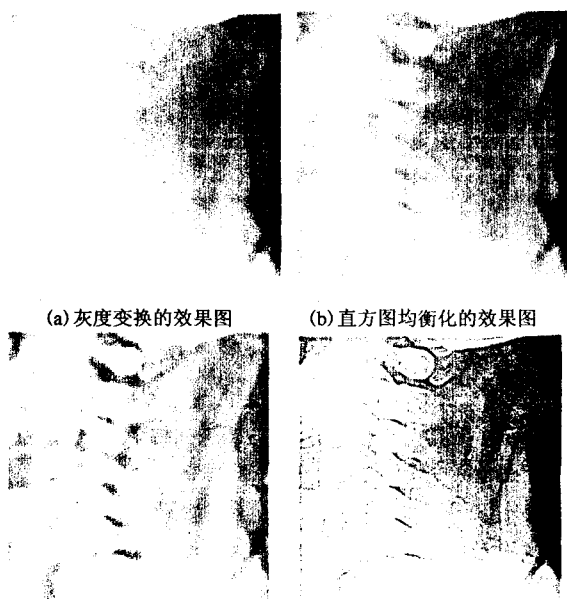
(下转第 130 页)

案,设计了一套稳定可靠的三维重建系统,可以通过两幅图像恢复出物体的三维形状,结果较为满意,为系统的进一步改进和完善打下了基础,本系统将主要用于城市景观的三维重建,目的是能够对建筑物、绿地、河流等三维模型实现快速精确的重建,对“数字化城市”的建设有较为广阔的应用价值。

参考文献:

- [1] 王新宇. 基于计算机立体视觉的三维重建[D]. 长沙:中南大学,2004.
- [2] 李健,史进. 一种基于 OpenCV 的三维重建实现方案[J]. 计算机与信息技术,2008(4):47-49.
- [3] 马颂德,张正友. 计算机视觉(计算理论与算法基础)[M]. 北京:科学出版社,2003:52-92.
- [4] 隋婧,金伟其. 双目立体视觉技术的实现及其进展[J]. 计算机应用,2004(10):4-6.
- [5] 何海,汤春林,孙华燕. 双目立体视觉在模型姿态监测中的应用研究[J]. 计算机技术与发展,2006,16(11):238-240.
- [6] Zisserman H R. A Multiple View Geometry in Computer Vision[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2000.
- [7] Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.
- [8] Zhang Zhengyou. Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations[D]. [s.l.]: ICCV,1999: 666-673.
- [9] 蔡健荣,赵杰文. 双目立体视觉系统摄像机标定[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2006,27(1):6-9.
- [10] Barnard S T, Fischler M A. Computational stereo[J]. ACM Computing Surveys,1982,14(4):553-572.
- [11] Lowe D G. Distinctive image features from scale invariant key-point[J]. International Journal of Computer Vision,2004,60(2):91-110.
- [12] 胡志勇,张秀芬,蔚刚,等. 基于灰度图像的三维曲面重建系统设计[J]. 计算机技术与发展,2007,17(10):61-64.
- [13] 崔明. 基于图像序列的三维模型重建[D]. 杭州:浙江大学,2005.
- [14] Hartley R. Estimation of relative camera position from uncalibrated cameras[C]// In Proceedings of European Conference on Computer Vision. [s.l.]: Springer-Verlag,1992.
- [15] Zhang Z. A New Multistage Approach to Motion and Structure Estimation: From Essential Parameters to Euclidean Motion via Fundamental Matrix[R]. France: INRIA Sophia-Antipolis,1996.
- [16] Longuet-Higgins. A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections[J]. Nature,1981,293:133-135.
- [17] 管镭,孟宪琦,魏生民. Delaunay 三角网络化算法及实现[J]. 西北工业大学学报,1996,14(1):138-142.
- [18] Shewchuk J R. Delaunay Refinement Mesh Generation[D]. USA: School of Computer Science, Carnegie Mellon University,1995.
- [19] OpenGL 体系结构审核委员会. OpenGL 编程指南[M]. 第4版. 邓郑祥译. 北京:人民邮电出版社,2005.

(上接第 126 页)



(c) 对比度自适应直方图均衡化的效果图 (d) 文中的效果图

图 4 算法对比效果图

参考文献:

- [1] 张淑骅. 基于 MATLAB 的 X 光图像处理[D]. 上海:华东师范大学,2005.
- [2] 尹立敏,刘艳滢,顾蕊,等. 一种可控的直方图均衡算法[J]. 微计算机信息,2005,21(12-3):147-148.
- [3] 罗军辉,冯平. MATLAB7.0 在图像处理中的应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [4] Paranjape R B. Adaptive neighborhood histogram equalization for image enhancement[J]. CVGIP,1992,54(3):259-267.
- [5] 周德龙,潘泉,张洪才. 自动图像边缘检测方法的研究[J]. 计算机工程与科学,2001,23(4):11-14.
- [6] Kundu A, Zhou J. Combination media filter[J]. IEEE Transaction on Image Processing,1992(1):422-429.
- [7] 黄伟,周鸣争,李小牛. 基于滤波器叠加的彩色图像矢量中值滤波方法[J]. 计算机技术与发展,2008,18(1):143-145.
- [8] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing (影印版)[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [9] 吴燕,张晨燕. 基于目标特征的灰度直方图重分布图像增强算法[J]. 计算机与信息技术,2007(8):14-15.