

基于灰度对比和自适应小波变换的X射线图像增强**☆

师黎, 陈欣欣

X-ray enhancement based on gray-contrast and adaptive wavelet transform

Shi Li, Chen Xin-xin

Abstract

BACKGROUND: As a routine way of checking, X-ray examination has been widely used, but because of the limitations of existing technology, X-ray images have disadvantages of low intensity contrast, and noise. Therefore, nowadays the X-ray images are often not meet medical requirements.

OBJECTIVE: To enhance and denoise X-ray images with low intensity contrast and noise, to achieve the purpose of medical understanding and recognition.

METHODS: Due to the shortage of image enhancement algorithm in the spatial domain and transform domain, an algorithm based on gray-contrast and adaptive wavelet transform was addressed. First, gray-scale ranges needed to strengthen or weaken were selected. The algorithm of eight neighborhood gray-scale contrast enhancement was used to enhance the X-ray image, and algorithm of median filtering was used to smooth the image. Second, the X-ray image was decomposed using wavelet decomposition algorithm, and the size of the correlation coefficients between adjacent layers were used to determine the details and noise of the image.

RESULTS AND CONCLUSION: The algorithm based on gray-contrast and adaptive wavelet transform integrates methods based on space domain enhancement or transform domain, which is better than enhancement method alone. The results show that this method achieved a good enhancement and denoising effect. Compared with the results of only contrast and modified the wavelet coefficients, this method obtains a better enhancement and denoising effect.

Shi L, Chen XX. X-ray enhancement based on gray-contrast and adaptive wavelet transform. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2010;14(35): 6551-6554. [http://www.crter.cn http://en.zgclckf.com]

School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan Province, China

Shi Li☆, Doctor, School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan Province, China
shili@zzu.edu.cn

Supported by: the National Natural Science Foundation of China, No. 60841004*, 60971110*

Received: 2010-03-18
Accepted: 2010-06-09

摘要

背景: X射线检查作为常规的检查方式得到了广泛的应用,然而由于现有技术的局限性,使得X射线图像往往具有灰度对比度低和噪声影响等缺点,因此,现有的X射线图像往往达不到医生的要求。

目的: 增强和去噪处理对比度较低且含有噪声的X射线图像,以达到易于医生理解和识别的目的。

方法: 针对空间域处理和变换域处理增强X射线图像的不足,提出了基于灰度对比和自适应小波变换的X射线图像增强算法。首先,选择需要增强和减弱的灰度范围,并根据八邻域灰度对比增强算法对X射线图像进行灰度变换,并用中值滤波算法对图像进行平滑;然后,对X射线图像进行小波分解,并运用相邻分解层之间相关系数的大小来确定细节信号和噪声。

结果与结论: 应用了灰度对比和自适应小波变换相结合的X射线图像增强算法,把基于空间域增强的方法和基于变换域的方法有机地结合起来,比传统的单一增强方法更为优越。实验结果证明它能自适应地增强X射线图像的灰度对比,使得图像细节的显示更加清晰,同时一定程度上去除了噪声的干扰,对于灰度对比度较低的图像效果更加明显。

关键词: 灰度对比; 图像增强; 小波变换; X射线; 噪声

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2010.35.023

师黎, 陈欣欣. 基于灰度对比和自适应小波变换的X射线图像增强[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(35):6551-6554. [http://www.crter.org http://cn.zgclckf.com]

0 引言

X射线检查具有很重要的临床应用价值,在医学影像诊断中得到了广泛的应用^[1-4]。由于X射线检查只是一种穿透性检查,身体的不同部位有不同的密度和厚度,这就使得X射线图像具有一定的模糊性和不确定性。X射线图像增强是指按照特定的需要突出图像中的某些信息,同时削减或除去某些不需要的信息,使处理后的图像更适合于人的视觉系统或者机器识别系统^[5-8]。因此,X射线的图像增强能够提高图像的质量。

X射线图像增强的要点在于图像灰度对比

度的增强和噪声的去除。X射线图像增强技术主要分为两大类:空间域处理和变换域处理^[9-11]。空间域处理是以对X射线图像像素的直接处理为基础,比如平滑滤波、锐化滤波和直方图均衡法等^[12-16]。变换域处理是在图形的某个变换域中对图像进行操作,修改变换后的系数,然后再进行反变换得到处理后的图像,如傅里叶变换、小波变换等^[7-23]。文献[23]采用灰度变换,并结合常规小波变换的算法对X射线图像进行增强,使得X射线图像的对比度更高边缘更清晰。文献[24]对比了几种基于小波变换的算法,反锐化掩膜法使得增强后的图像细节更清晰。子带增强法使得增强后的图像更有层次感,轮廓线也被加强。自适应增强法更贴近实际图像,

郑州大学电气工程学院,河南省郑州市 450001

师黎☆,女,1964年生,河南省许昌市人,汉族,2007年上海大学毕业,博士,主要从事生物信息检测与智能处理的研究。
shili@zzu.edu.cn

中图分类号:R318
文献标识码:B
文章编号:1673-8225
(2010)35-06551-04

收稿日期:2010-03-18
修回日期:2010-06-09
(20100318021/W·A)

细节增强明显^[26-28]。空间域处理方法使得变换后的X射线图像灰度对比更加明晰, 但却无法更好地去除图像的噪声。变换域处理方法使得变换后的X射线图像的边缘更加清晰, 但同时一些噪声也被增强了。

针对以上问题, 本文提出了一个基于灰度对比和自适应小波的X射线图像增强算法, 它将X射线图像的空间域处理算法和变换域处理算法有机结合起来。首先, 选择需要增强和减弱的灰度范围, 根据八邻域灰度对比增强算法对X射线图像进行灰度变换; 再用中值滤波算法对图像进行平滑; 然后, 对X射线图像进行小波分解, 并运用相邻分解层之间相关系数的大小来确定细节信号和噪声。实验结果表明, 本算法不仅可以提高X射线图像的灰度对比, 而且有效地消除了噪声。

1 基于灰度对比和小波变换的X射线图像增强算法

本文首先用灰度对比增强算法对X射线图像进行灰度变换, 然后用中值滤波算法对其进行平滑滤波, 最后进行小波变换, 计算变换后相邻高频小波层之间系数的相关系数, 以确定图像中的细节和噪声, 并依此消除X射线图像的噪声。

1.1 灰度对比X射线图像增强算法 文章主要用灰度对比增强(gray-contrast enhancement, GCE)来选择需要增强和需要减弱的灰度范围, 并且确定增强和减弱的程度。

由于X射线图像的细节由较少的像素组成, 这在一定程度上造成了局部对比度不够, 因此这里使用基于八邻域的非线性GCE算法, 它可以自适应地根据邻域的灰度对比信息来增强或者减弱像素的灰度值。

假设任何一点 (i, j) 的八邻域像素 $A_{i,j}$ 表示为

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} a_{i-1,j+1} & a_{i,j+1} & a_{i+1,j+1} \\ a_{i-1,j} & a_{i,j} & a_{i+1,j} \\ a_{i-1,j-1} & a_{i,j-1} & a_{i+1,j-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $A_{i,j}$ 是点 (i, j) 的灰度值。它的八邻域平均灰度值 $\mu_{i,j}$ 定义为

$$u_{i,j} = \frac{1}{8} \left(\sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} a_{k,l} \right) - a_{i,j} \quad (2)$$

八邻域标准差 $\sigma_{i,j}$ 为

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{9} \left(\sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (a_{k,l} - u_{i,j})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

在这个八邻域里, 用 A_{\max} 表示八邻域的最大灰度值, 用 A_{\min} 表示八邻域的最小灰度值。

八邻域的中心灰度差别可以用下面的方程来表示:

$$d_{k,l} = \frac{a_{k,l} - u_{i,j}}{A_{\max} - A_{\min} + 1} \quad (4)$$

这里 $i-1 \leq k \leq i+1, j-1 \leq l \leq j+1$, 并且 $(k, l) \neq (i, j)$ 。

增强后的图像的灰度值表示如下, 其中 $\hat{a}_{i,j}$ 表示 (i, j) 处变换后的灰度值。

$$\begin{cases} \hat{a}_{i,j} = a_{i,j} + \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (\sigma_{i,j} d_{k,l} / \lambda), & a_{i,j} > u_{i,j} + \sigma_{i,j} / \lambda \\ \hat{a}_{i,j} = a_{i,j} + \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (a_{i,j} \times d_{k,l}), & u_{i,j} - \sigma_{i,j} / \lambda < a_{i,j} < u_{i,j} + \sigma_{i,j} / \lambda \\ \hat{a}_{i,j} = a_{i,j} - \sum_{k=i-1}^{i+1} \sum_{l=j-1}^{j+1} (\sigma_{i,j} d_{k,l} / \lambda), & a_{i,j} < u_{i,j} - \sigma_{i,j} / \lambda \end{cases} \quad (5)$$

在这里 $\lambda \in N^+$ 是图像增强因子。一般情况下, λ 为1, 图像只需要一次增强。

X射线图像经过上述的GCE方法处理后, 细节的灰度对比得到了一定的提升, 图像有了一定的锐化。因为X射线图像的噪声多为随机白噪声, 因此用中值滤波算法对图像进行平滑滤波。

1.2 自适应小波X射线图像增强算法 基于小波变换的图像增强方法通常采用加强高频分量的方法, 使得图像轮廓更加突出, 处理结果也会比传统的方法更加让人满意。

由于图像是二维信号, 令 $f(x, y)$ 表示X射线图像, x 和 y 分别是其横纵坐标, $\psi(x, y)$ 表示二维基本小波, 对应的尺度函数为 $\phi(x, y)$ 。若尺度函数可分离, 即 $\phi(x, y) = \phi(x) * \phi(y)$, 令 $\psi(x)$ 是与 $\phi(x)$ 对应的一维小波函数, 则二维小波可以表示为:

$$\psi^1(x, y) = j(x)\psi(y) \quad (6)$$

$$y^2(x, y) = y(x)j(y) \quad (7)$$

$$\psi^3(x, y) = \psi(x)\psi(y) \quad (8)$$

X射线图像的多分辨率分析可以依此分解为低频部分和高频部分, 即平滑和细节两部分, 其中细节部分又分为水平方向细节、垂直方向细节和对角线方向细节。

为了能在增强图像的同时有效地抑制X射线图像的噪声, 就必须先确定哪些小波系数是由图像细节引起的哪些是由噪声引起的。这个方法不能仅仅依靠系数值的大小, 不能盲目地抑制一些小于既定阈值的系数。由噪声产生的小波高频系数通常与相邻小波层上的小波高频系数的相关系数很小, 而由细节产生的小波高频系数通常与相邻小波层上的小波高频系数的相关系数则相对比较大。这样就可以求取相邻层间小波系数的相关性, 找到并抑制噪声的影响。因此本文用相邻尺度上同一位置小波系数间的相关系数来确定X射线图像的噪声

和细节。

$$r = \frac{n \sum ab - \sum a \sum b}{\sqrt{n \sum a^2 - (\sum a)^2} \sqrt{n \sum b^2 - (\sum b)^2}} \quad (9)$$

其中, r 为相关系数, n 为小波分解层数, a 和 b 分别为相邻层的小波系数。

有很多种类型的小波基可以选择, 比如Mayer、Daubechies、Symlet和Shannon等, 但是对于同样的信号, 由于不同小波在紧支性流畅性和正交性等特点不同的小波会有不同的结果。如何针对特殊的应用选择合适的小波是很重要的。由于二重Daubechies小波变换具有时域紧支性并且对不稳定性的信号比较敏感, 因此本文选择二重Daubechies小波变换, 选择紧支集的长度为8。

首先计算相邻尺度间小波系数的相关值, 根据相关值的大小来判定它是否为噪声, 如果不是噪声则按照一定倍数增强, 如果是噪声则置零。这样既可以抑制噪声又可以增强图像的细节信息。

2 实验及结果分析

选择胸腔X射线图像和乳腺X射线图像来验证本文的方法, 并与灰度变换和小波变换方法相比较。本文的算法中 λ 为1。从图1可以看出, 灰度变换后的胸腔图像灰度对比更加强烈, 但是边缘和细节不够明晰。经过修改小波变换系数处理后, 图像的边缘更加清晰, 肩膀、肋骨、椎骨以及肺部的轮廓更加明晰, 但同时一些不期望的噪声信号也被增强。经过本算法处理后, 可以明显地看出, 图像的灰度对比更加强烈, 图像边缘更加清晰, 肩部、肋骨以及椎骨的轮廓都非常明了, 特别将原图像中胸腔下部几乎单一的灰度级扩展开来, 同时又弱化了原图像中肌肉部分, 使得变换后的X射线图像更加清晰。从图2可以看出灰度变换后的乳腺图像灰度对比原图像有了很大的提升, 但边缘部分却不够平滑。经过修改小波变换系数处理后图像的细节更加明晰, 但图像的灰度却没有得到更好的延展。经过本文方法处理后的图像灰度范围得到了扩展, 细节更加清晰。可以看出本文的方法比单一的灰度变换和小波变换的效果都要好。

利用图像增强的量化指标对本文的增强结果进行验证。通常图像增强的评价指标有: 图像均值, 图像均方差, 以及图像的信息熵。图像的均值表示图像的整体亮度, 均方差表示图像的灰度对比, 而信息熵则代表图像中信息量的多少。由表1和表2可以看出, 经过本文方法处理后的图像均值均方差均比单一的灰度对比和小波变化的均值和均方差要大, 说明本文处理后的图像的整体亮度提高, 灰度对比增强效果更加明显, 同时也去除了图像中的噪声。取得了良好的增强效果。

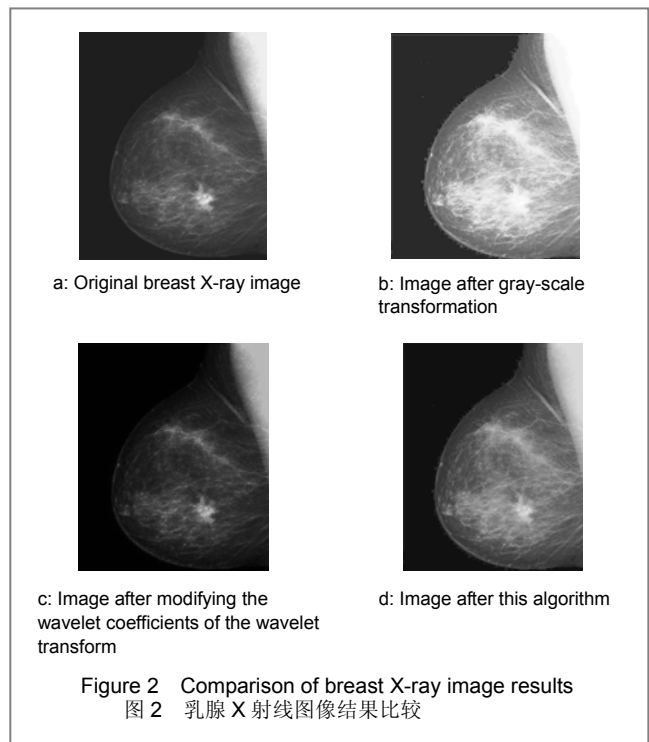
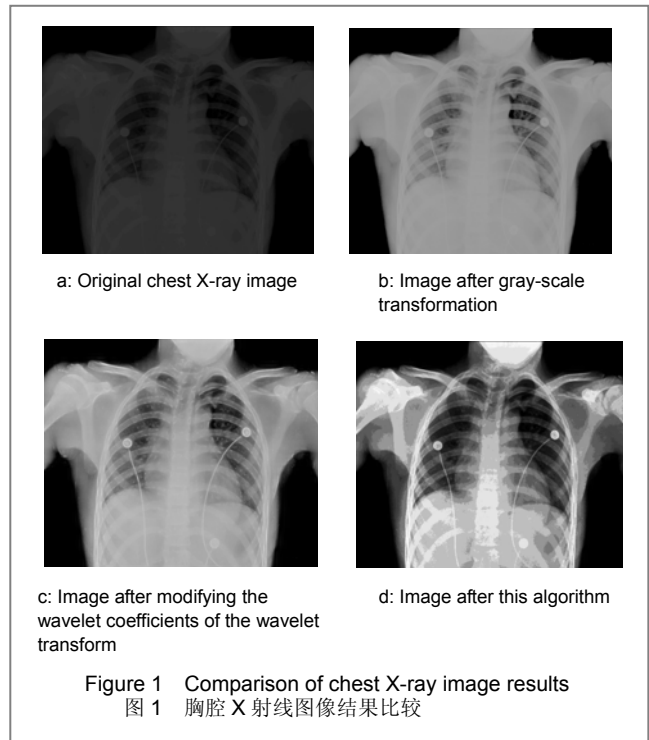


表1 胸腔X射线图像增强结果性能比较
Table 1 Comparison of performance evaluation of chest X-ray image enhancement results

Figure 1	Mean	Mean square error	Entropy of information
a	31.71	19.46	3.28
b	139.92	80.01	4.54
c	115.81	67.49	6.44
d	120.00	88.50	3.09

表2 乳腺X射线图像增强结果性能评价
Table 2 Comparison of performance evaluation of breast X-ray image enhancement results

Figure 2	Mean	Mean square error	Entropy of information
A	25.33	41.94	3.66
b	59.63	39.26	3.83
c	23.20	36.86	4.12
d	64.84	58.56	3.53

结论: 本文应用了灰度对比和自适应小波变换相结合的X射线图像增强算法, 把基于空间域增强的方法和基于变换域的方法有机地结合起来, 比传统的单一增强方法更为优越。实验结果证明它能自适应地增强X射线图像的灰度对比, 使得图像细节的显示更加清晰, 同时在一定程度上去除了噪声的干扰, 对于灰度对比度较低的图像效果更加明显。但如何在增强图像对比度地同时更好地滤除噪声还是一个有待继续研究的问题。

3 参考文献

[1] Chen HS. Beijing: People's Medical Publishing House. 1994. 陈鹤生. 医用影像设备学. 北京: 人民卫生出版社, 1994.

[2] Lu WX. Beijing: HIGHER EDUCATION PRESS. 1989. 吕维雪. 医学图像处理. 北京: 高等教育出版社, 1989.

[3] Zhuang TG. Beijing: Science Press. 2000. 庄天戈. 计算机在生物医学中的应用. 北京: 科学出版社, 2000.

[4] G.D.Hines, Z.Rahman, D.J.jobson, et al. Real-Time Enhanced Vision System. Enhanced and Synthetic Vision. 2005; 5802: 156-164.

[5] Guan W, Mao W. Zhongguo Zhongliu. 2007; 16 (10): 815-817. 管卫, 毛伟敏. 数字化胸片计算机辅助检测在肺结节早期检出中的应用[J]. 中国肿瘤, 2007, 16 (10): 815-817.

[6] Pizer S M, Amburn, E P, Austin J D. Adaptive histogram equalization and its variations. Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1987; 39(3): 355-368.

[7] Duan Z. Kexue Jishu yu Gongcheng. 2009. 2: 684-686. 段竹. 医学图像增强算法研究[J]. 科学技术与工程, 2009. 2: 684-686.

[8] Yao M. Beijing: Jixie Gongcheng Chubanshe. 2006: 1-87. 姚敏. 数字图像处理, 北京, 机械工业出版社, 2006: 1-87.

[9] Gonzalez, Beijing: Dianzi Gongye Chubanshe. 2007. 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 2版. 北京: 电子工业出版社, 2007.

[10] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Beijing: Dianzi Gongye Chubanshe. 2005. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. 著. 阮秋琦, 阮宇智等译. 数字图像处理[M]. 2版. 北京, 电子工业出版社, 2005.

[11] Park. M, Jin. J and Wilson. L. Fast Content-Based Image Retrieval Using quasi-Gabor Filter and Reduction of Image Feature. 5th IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation. 2002; 178-182.

[12] Yuan LT, Qiu LJ. Disi Junyi Daxue Xuebao. 2007; 28(4): 376-378. 袁立婷, 邱立军. 基于MTALAB的X线医学图像增强与直方图处理[J]. 第四军医大学学报, 2007, 28(4): 376-378.

[13] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Beijing: Dianzi Gongye Chubanshe. 2004. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing Using MATLAB. 北京, 电子工业出版社, 2004.

[14] Sun ZL. Beijing: Qinghua Daxue Chubanshe. 2002: 175-230. 孙兆林. MATLAB 6.x图像处理[M]. 北京, 清华大学出版社, 2002: 175-230.

[15] Kenneth R. Castleman. Beijing: Qinghua Daxue Chubanshe. 1998. Kenneth R. Castleman. Digital Image Processing[M]. 北京, 清华大学出版社, 1998.

[16] Zhang DB. Zhongguo Kexueyuan. 2005. 张道兵. 数字胸片中的关键图像处理技术研究[D]. 硕士学位论文, 中国科学院, 2005.

[17] Xue MG, Yuan GL, Yao L, et al. Jisuanji Gongcheng Yingyong. 2005; 24(11): 85-88. 薛模根, 袁广林, 姚翎, 等. 基于小波分析的图像子带增强算法研究[J]. 计算机工程应用, 2005, 24(11): 85-88.

[18] Xie GH, Wang YL, Ming L, et al. Hedanzixue yu Tance Jishu. 2004; 24(1): 1-4. 谢桂海, 王寅龙, 明亮, 等. 小波分析在医学图像处理中的应用研究[J]. 核电子学与探测技术, 2004, 24(1): 1-4.

[19] Chen WF. Beijing: Science Press. 2002. 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京, 科学出版社, 2002.

[20] Gao H, Bruce AG. Wave shrink with firm shrink-age. Statist. 1997; 7(4): 855-874.

[21] Orsini G, Ramponi G, Carrai P, et al. A modified Retinex for image contrast enhancement and dynamics control. Image Processing, ICIP 2003. Proceedings. International Conference, Issue. 2003; (3): 14-17.

[22] G. Ramponi, L. Tenze, S. Carrato, et al. Nonlinear contrast enhancement based on the Retinex approach. SPIE. 2003; 5014: 169-177.

[23] Jiao Feng, Naixue Xiong, Bi Shuoben. X-ray Enhancement Based on Wavelet Transform[C]. 2008 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference. 1568-1573.

[24] Hou HL, Wang MQ. Danjian yu Zhidao Xuebao. 2007; 5: 335-340. 侯惠玲, 王明泉. 基于小波变换的射线图像增强方法的比较分析[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 5: 335-340.

[25] Wang YC, Li SJ, Huang LQ. Guangxue Jingmi Gongcheng. 2006; 14(1): 71-78. 王彦臣, 李树杰, 黄廉卿. 基于多尺度Retinex的数字X光图像增强方法研究[J]. 光学精密工程, 2006, 14(1): 71-78.

[26] Fu LQ, Han Y, Gui ZG, Wusun Jiance. 2005, 27(9): 485-486. 付丽琴, 韩焱, 桂志国. 射线图像的对比度增强方法[J]. 无损检测, 2005, 27(9): 485-486.

[27] Wang GQ, Zhong WB. Jisuanji Yingyong Yanjiu. 2004; 21(12): 175-176. 王国权, 仲伟波. 灰度图像增强算法的改进与实现研究[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(12): 175-176.

[28] Reza A. Realization of the contrast limited adaptive histogram equalization (CLAHE) for real time image enhancement Journal of VKSI Signal Processing 2004; 38(1): 35-44.

来自本文课题的更多信息--

基金资助: 国家自然科学基金项目(60841004): 基于基函数超完备集的动物视觉图像重构研究; 国家自然科学基金项目(60971110): 初级视觉皮层中视像整体特征的稀疏表象模型的研究。

利益冲突: 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

课题的创新点: X射线检查只是一种穿透性检查, 身体的不同部位有不同的密度和厚度, 这就使得X射线图像具有一定的模糊性和不确定性。这就需要对X射线图像做进一步的增强去噪处理, 这里使用灰度变换和小波变换相结合的方法对X射线图像进行增强去噪处理, 使得变换后的图像更有利于医生的识别和判断。

课题评估的“金标准”: X射线图像增强目前还没有统一的评价标准。

设计或课题的偏倚与不足: X射线检查对身体的很多部位都是适用的, 医生所需要的最终结果也是有所侧重的。课题中只是对有限的X射线图片进行增强去噪处理, 因此具有一定的局限性。

提供临床借鉴的价值: 本方法能够对X射线图像进行增强去噪处理, 处理后的图像能够对医生的判断和识别提供一定的帮助, 而且X射线检查方便经济, 具有一定的应用前景。