

基于小波分析的医学 CR 影像随机噪声消除

刘光达, 赵立荣

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 计算机 X 线摄影(Computed Radiography, CR)是近年来国际上较热门的研究课题之一。较之使用普通 X 光胶片的常规 X 线摄影, 它的基本原理是采用专用信息数字化载体, 即影像板 IP(Imaging Plate), 来完成影像数据的提取及数字化, 并借助计算机进行影像数据处理和影像重建工作。在 X 线影像信号的提取过程中, 由于受到各种随机干扰噪声的影响, 使得实际采集到的数据为信噪比很低的含噪信号, 需进行消噪处理。本文将小波变换, 这一时-频分析理论引入到 X 线影像数据的弱信号检测和影像重建工作中, 实现了基于小波变换原理的影像消噪处理。

关键词: CR 影像; 噪声消除; 小波分析

中图分类号: TN911.74 **文献标识码:** A

1 引言

医学 X 线摄影已有近百年的应用与发展历史, 为人类的健康做出了巨大贡献。即使在科学高度发达的今天, 增感屏-胶片方式的 X 线摄影一直是获取 X 线影像的主要手段。70 年代以来, 随着计算机与微电子技术的飞速发展, 一大批全新的成像技术, 如超声、CT 等不断涌现, 80 年代又出现了核磁共振成像(MRI)、数字减影血管造影(DSA)等。这些技术极大地丰富了形态学诊断信息的领域和层次, 提高了诊断水平, 从而形成了医学影像学的数字化发展趋势。而取代传统增感屏-胶片 X 线摄影的, 就是使用存储板记忆 X 线影像, 再经激光扫描转换成数字信号进入计算机工作站进行处理的数字化 X 线摄影方式, 称为计算机 X 线摄影(Computed Radiography, CR)。

CR 系统的基本组成如图 1 所示。

图中 X 光灯和 IP 构成 CR 系统的影像数据采集部分; 读出装置(激光扫描器、光电倍增管和 A/D 转换器)构成 CR 系统的光电信息转换部分; 计算机和数字存储装置构成 CR 系统的信息处理与记录部分。影像板是外观很像摄影增感屏的一种薄板, 由保护层、成像层、支持层和背衬层构成。其中最关键的成像层含有二价钡离子的氟氯化钡晶体。该晶体层内的化合物经 X 线照射后, 产生色心并存储电子和空穴, 使接受的能量以

潜影的方式储存于晶体内, 成为模拟影像。当随后用激光束扫描带有潜影的成像板时, 可激发储存在晶体内的能量, 使之转换为荧光, 继而读出并转换为影像信号。影像数据随后被馈入计算机系统中进行处理, 最后形成高质量数字影像。

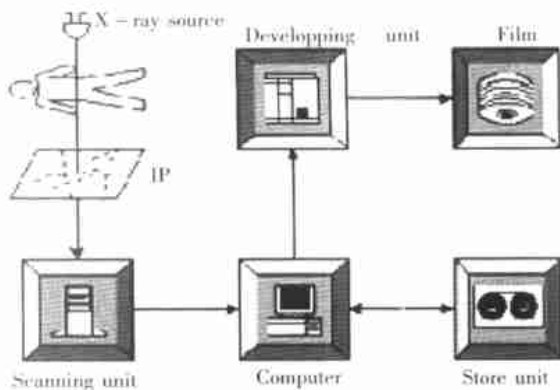


Fig. 1 Diagram of CR

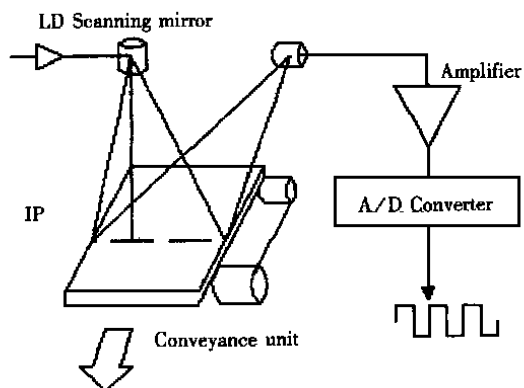


Fig. 2 Diagram of X-ray image scanning device

在 CR 系统工作之前, 首先通过普通 X 光机将患者的待查部位曝光在 IP 上。为了读出 IP 上存储的模拟信息, 并使之数字化, 需利用激光束对 IP 进行扫描激励。图 2 给出了利用激光激励扫描读取 IP 的示意图。

图中半导体激光器给出 670nm 的激光(功率为 30mw), 经旋转棱镜按照一定的频率扫描 IP 后, 发出 380nm 的蓝光。激发出的蓝光经“光纤排”, 在紫外光电倍增管上转换为电信号, 再经弱信号放大器和视频 A/D 转换器, 转换成等待计算机进行处理的原始 X 线影像数据。与传统的 X 线摄影相比, 计算机 X 线摄影具有革命性的进步: (1) 重建后的影像更清晰, 提高了医学诊断的准确率; (2) 新型感光材料代替了老式的 X 光胶片, 灵敏度和动态范围(大于 10^4 以上) 大大提高, 且可反复擦除使用达上千次; (3) 实现了影像数据的计算机数字存储和管理, 以及网络化的远程专家会诊和无胶片诊断。

2 CR 系统固有噪声特性分析

固有噪声是指 CR 系统运行中产生的非 X 线量依赖性噪声。它包括 IP 的结构噪声, 激光器噪声, 模拟电路噪声, 光电转换和 A/D 转换过程中的噪声等。其中, 结构噪声是由 IP 的荧光体颗粒层内荧光体分布的随机性产生的。这些噪声都是以高斯分布的白噪声的形式存在的。图 3 给出了 CR 系统的噪声量(RMS)随 X 线辐射剂量的变化曲线。从中看到, RMS 与 IP 检测到的 X 线量是成反比例的关系。入射 X 线剂量越大, X 线量子噪声越小。

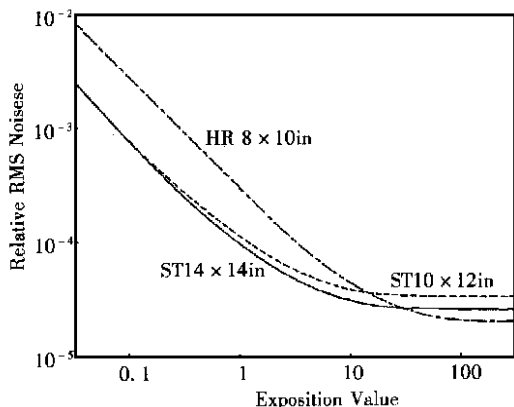


Fig. 3 Varying curve of RMS with X-ray radiation

3 二维影像信号的小波分析及 Mallat 快速算法

传统的傅立叶变换是一种纯频域分析, 没有时间局部信息。与傅立叶变换不同, 小波变换 (Wavelet Transform) 引入了多尺度的概念, 它是近十年来迅速发展起来的一个新的数学分支。在基于多分辨率分析的框架下, Mallat 在塔式算法的基础上建立了对离散信号进行小波变换的快速算法。离散二维小波分析是一维分析的直接推导。图 4 给出了离散二维小波分解示意图。式 (1) 和 (2) 分别是进行 $J_2 - J_1$ 步的 Mallat 分解算法和重构算法的公式。其中, C_j 表示尺度 j 的低频信号; D_j^1 表示尺度 j 的水平低频和垂直高频细节信号, D_j^2 表示尺度的水平高频和垂直低频细节信号, D_j^3 表示尺度 j 的水平高频和垂直高频细节信号; H_r 和 H_c 分别表示对阵列的行和列作用以一维情形的算子 H , G_r 和 G_c 分别表示以算子 G 作用到阵列的行和列上, H^* 和 G^* 是 H 和 G 的共轭算子。

$$\begin{aligned}
 C_{j+1} &= H_r H_c C_j \\
 D_{j+1}^1 &= H_r G_c C_j \\
 D_{j+1}^2 &= G_r H_c C_j \quad (j = J_1, J_1 + 1, \dots, J_2 - 1) \\
 D_{j+1}^3 &= G_r G_c C_j
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 C_j &= H_r^* H_c^* C_{j+1} + H_r^* G_c^* D_{j+1}^1 + G_r^* H_c^* D_{j+1}^2 + \\
 &\quad G_r^* G_c^* D_{j+1}^3 \\
 (j &= J_2 - 1, J_2 - 2, \dots, J_1) \tag{2}
 \end{aligned}$$

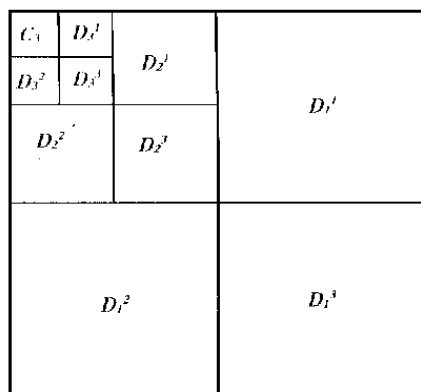


Fig. 4 Schematic representation of decomposition using 2D WT

4 小波域 CR 影像随机高斯噪声的加权滤波

在进行 CR 系统影像 F 的小波域消噪处理中,我们首先计算采得影像信号 S 的小波变换,得到变换系数 WS ,为了滤除或减小噪声对小波变换系数的贡献,我们引入一个系数加权因子 h , $0 < h < 1$,对 WS 进行加权后的小波变换系数为 \overline{WS} ,则有下式成立:

$$\overline{WS} = h \cdot WS \quad (3)$$

在两个极端情况下,取 $h = 0$,则将小波变换系数都看做是由噪声引起而全部滤除;取 $h = 1$,则将小波变换系数都看做是由信号 F 引起而全部加以保留。

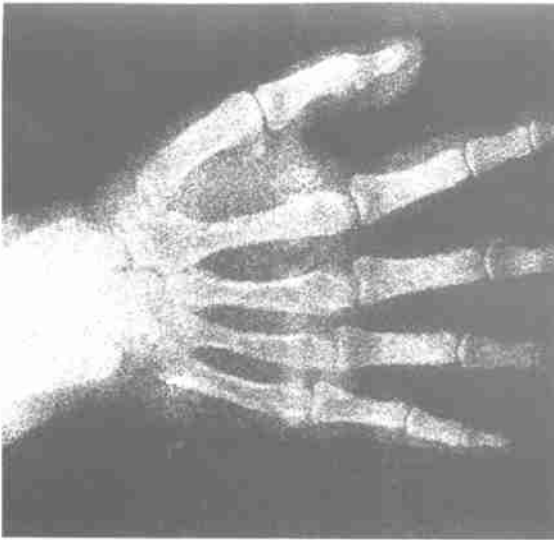


Fig. 5 Hand CR image with random noises

当 h 在 $[0, 1]$ 之间取值时,可以去除由噪声对小波变换系数的影响,而保留其中的信号成分。在 Gaussian 白噪声情况下,噪声对每个小波变换系数的影响都是均匀的,因此加权滤波因子 h 是由小波变换系数自身决定的。通过选择合适的滤波阈值,可以实现最佳滤波控制。进行小波域高斯白噪声加权滤波,可以通过对噪声标准偏差的估计,来

参考文献:

- [1] 郭小方,等.基于小波分析的成像光谱图像随机噪声消除[J].遥感学报,1999,3(3):183-190.
- [2] 潘泉,等.基于阈值决策的子波域去噪方法[J].电子学报,1998,26(1):115-117.
- [3] 彭玉华.基于离散正交小波变换的图像去噪方法[J].中国图像图形学报,1999,4(8):677-679.
- [4] 闫丽,袁家虎,刘汇,李展.光子波用于图像处理[J].光学精密工程,2000,8(3):225-230.
- [5] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation[J]. IEEE Trans. on Pattern Machine Intell. 1989,11(7):674-693.

选择一个合适的滤波阈值 λ 。在 λ 值确定后,加权滤波因子 h 按如下公式取值:

$$h = 1 - \frac{\lambda \cdot \text{sgn}(WS)}{WS}, \text{ if } |WS| > \lambda \quad (4)$$

$$h = 0, \text{ if } |WS| < \lambda$$

最后,通过对加权小波变换系数 \overline{WS} 进行小波反变换,得到信号 F 的估计值 F :

$$F = W^{-1}(\overline{WS}) \quad (5)$$

图 5 是 CR 系统采集到的一幅含噪人手部影像。

图 6 为消噪后重建的人手部 CR 影像。

采用本文提出的小波域消噪处理方法,将 CR 影像的信噪比从 12.1 提高到 14.5。

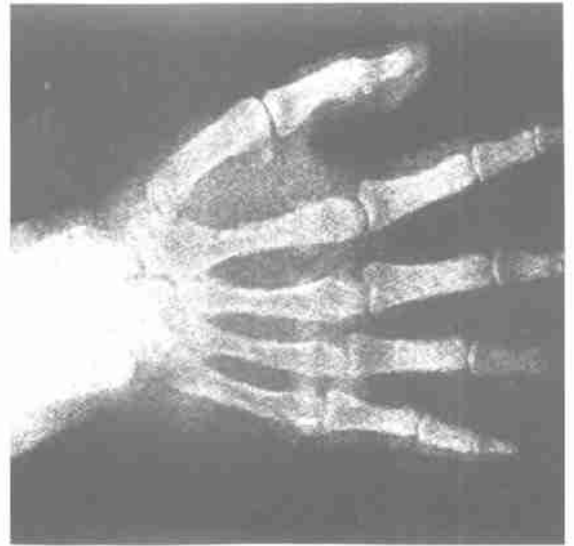


Fig. 6 Hand CR image with removed random noises

5 结束语

与传统的傅立叶频域分析方法相比,利用小波变换进行影像信号消噪和重建,可以保持影像中的高频突变成分不受破坏。消噪处理中的关键问题是如何选取量化阈值和变换小波基。有关这方面的内容,请见附录中的参考文献。

Removal of random noises for medical CR images using WT

LIU Guang-da, ZHAO Li-rong

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*)

Abstract: Computed Radiography (CR) is being popularly studied in the world recent years. Compared with common X-ray imaging, CR system applies a special kind of digital message carrier, i. e. Imaging Plate (IP), to detect and digitize image data. With the aid of computer, it's possible for CR system to process and reconstruct X-ray image. Because there exists random noises while detecting X-ray image data, what we get finally is noisy signals, which need to be processed. In the paper, Wavelet Transformation (WT), a time-frequency domain analysis theory was introduced into X-ray image data detection and image reconstruction. Based on WT, removal of random noises of CR images has been accomplished in our work.

Key words: CR images; removal of noises; wavelet transformation (WT)

作者简介: 刘光达(1964-), 男, 吉林省人, 研究员, 长春光机所在职博士生。研究方向为激光扫描成像技术及图像信号处理。研究成果获得中科院科技进步奖等奖励。在国内学术刊物上发表数篇研究论文。