

# X光图像的增强与复原

李 正 顺

(佳木斯教育学院 物理系, 佳木斯市)

吴 桂 英

(中国科学院长春光学精密机械研究所)

## 提 要

本文提出了两种 X 光图像处理方法, 其中增强方法是运用调节参量在计算机上完成的, 结果令人满意。

复原法主要是在只考虑散射和光源尺寸的条件下来计算 MTF(散射主要考虑增感屏的影响)在特殊情况下, 可得到 MTF 的解析形式, 它与计算机结果是一致的。

关键词: 数字图像; X 光图像。

## 一、前 言

目前对物体内部信息的探测多数仍采用传统的 X 光照相。由于 X 光在照相过程中存在着多种模糊因素, 故像质是较差的。加大 X 光机功率对提高像质有一定的作用, 但效果不大<sup>[1]</sup>。

自图像处理出现以后, X 光的像质才得到了改善。X 光图像的处理亦可采用光学、电子学和计算机三种方法。实践表明, 光学方法由于引进了相干源, 是由此而带来的相干干扰至今尚难以克服; 电子学方法也不理想。目前较成功的是电子计算机方法, 它具有快速、灵活的优点, 在国内外已获得了广泛的应用。

## 二、图 像 增 强

实验是在美国 101 计算机上进行的。这是一部功能齐全的大型图像处理机, 但缺乏处理 X 光图像软件。这里给出, 只要键盘操作, 调节参数, 而无需增加软件的方法。目前该方法已获得了成功的应用。

众所周知, 图像的清晰度与图像的对比度密切相关。只要利用计算机的计算和灵活功能, 适当地展宽图像的对比度, 就会将一幅模糊的图像变得清晰起来。具体方法如下:

### 1. 输入图像

输入有两种方法:

(1) 计算机输入法。如采用 C-3, C-6 等仪器输入, 它的优点是分辨率高(可达  $10^6$  grey

level), 缺点是麻烦, 有时还要编制输入程序。还由于灵敏度高, 常常使噪声混入。

(2) 电子扫描法。尽管它的精度差些, 但它的操作简便, 且一般图像均可满足精度要求, 故实际中都采用此法。

## 2. 计算机键盘操作

(1) 利用机内原有子程序。通过键盘操作, 首先确定图像中处理的区域。由于计算机的限制, 对处理的区域有一定要求。若需处理区域较大, 可采用分区处理方法。

(2) 利用子程序。对所处理图像灰度作统计平均, 并打印结果。

(3) 由打印结果, 根据公式(1)展宽图像对比度, 然后将新对比度图像再现。这里要反复调节参数, 直到图像取得最佳效果为止。

$$G(X, Y) = g_m + ds * [O(X, Y) + m(X, Y)] / s(X, Y) \quad (1)$$

式中  $G(X, Y)$ ——展宽后灰度,  $O(X, Y)$ ——原图像灰度;  $g_m$ ——展宽后图像的期望平均灰度;  $m(X, Y)$ ——围绕  $(X, Y)$  小范围内的平均灰度;  $s(X, Y)$ ——围绕  $(X, Y)$  小范围内标准自差灰度。

我们可将(1)式变为;

$$G(X, Y) = \alpha * g_m + [1 - \alpha] * m(X, Y) + ds * [O(X, Y) - m(X, Y)] / [s(X, Y) + (ds / Y_m)] \quad (2)$$

$\alpha$  的值取为  $0 \sim 1$ , 当  $\alpha = 0$  时, 表示平均值不变;  $Y_m$ ——限制分母为零的参数。

调节参数实际上仅调节  $\alpha$  和  $Y_m$ 。 $\alpha$  通常可取  $0.7 \sim 0.8$ ,  $Y_m$  一般可取 50 左右 (视  $ds$  之值而定, 以保留此项为好)。

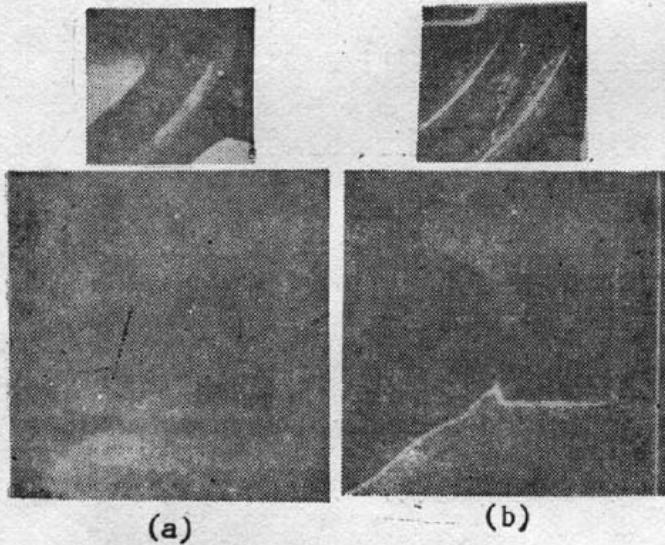


Fig. 1 X-ray image by enhancement

(a) before processing

(b) after processing

实践表明, 以上方法对动态 X 光图像也会得到明显的效果。

用此法处理所得到的图片如图 1 所示。

## 三、图像复原

这里仅限于讨论静态 X 光图像的复原。问题的核心是寻找 MTF。我们首先讨论一下 X 光成像的模糊因素。

### 1. 模糊因素

(1) 散射模糊。X 光与物质相互作用必发生散射, 散射就必造成图像模糊, 这是 X 光图像的一个特点。核物理研究表明, 当光子能量  $h\nu \lesssim 1\text{MeV}$  时, 主要表现为 Compton 效应; 当光子能量较低时, 主要表现为光电效应; 当光子能量较高时, 将出现电子对效应。在整个成像过程, 发生散射的区域很多, 但对成像影响最大的是增感屏, 因为它离底片最近, Monte-Carlo 的计算证明了这一点, 美国和日本的经验也证明了这一点<sup>[3, 4]</sup>。因此本文中所讨论的散射模糊只限于增感屏。

(2) 几何模糊。X 光光源通常比可见光光源的尺寸要大, 如有的  $W$  针直径达几个  $mm$  数量级, 由此引起的半影效应严重, 实际中不容忽略, 这也是 X 光图像的一个特点。此外, 亦有底片的颗粒噪声, 显微密度计引进的量化噪声等, 相对地说不如上面的重要, 故这里不予讨论。

## 2. 点扩散函数

(1) 散射 PSF。这里仅考虑 Compton 效应。由 Heitler 给出的微分截面形式为<sup>[5]</sup>:

$$\frac{d\psi}{d\Omega r_0^2} = 4 \frac{(1-\gamma)^2 \cos^2 \beta}{(1+2\gamma+\gamma^2 \sin^2 \beta)^2} \left\{ 1 + \frac{2\gamma^2 \cos^4 \beta}{(1+2\gamma+\gamma^2 \sin^2 \beta) [1+\gamma(\gamma+2) \sin^2 \beta]} - \frac{2(1+\gamma)^2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta}{[1+\gamma(\gamma+2) \sin^2 \beta]} \right\} \quad (3)$$

式中:  $\beta$ ——反冲电子相对于入射光的夹角;  $d\Omega$ ——反冲电子立体角元;  $r_0$ ——经典电子半径;  $\gamma = K/\mu$ ,  $\mu = m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$  ( $m_e$  为电子的静止质量),  $K$ ——入射光能量, ( $k = h\nu$ )。为计算简单起见, 作如下的假定: (1) 底片成像只与 Compton 电子的数目有关, 且忽略二次电子的影响; (2) 屏与底片紧密接触; (3) 屏与入射 X 光垂直。

若屏厚为  $d$ , 密度为  $\rho$ , 屏物质的原子量为  $A$ 。考虑到核物理中的微分截面  $d\varphi$  是表示  $h\nu$  和单位体积中一个电子的作用几率。因屏中单位体积有  $N = \frac{\rho}{A} N_0 Z$  个电子 ( $N_0$ ——阿佛加德罗常数,  $Z$ ——原子序数)。故  $N d\varphi$  是表示单位体积内的电子数, 即可表示光强, 实际上这可以近似地看作是 X 光的 PSF。

在增感屏中, 为了考虑整个屏对光强的贡献, 我们还要对厚度进行积分。

我们首先利用三角公式和  $\text{ctg} \frac{\theta}{2} = (1+K) \text{tg} \beta$ , 将 (3) 式中的  $\beta$  换成  $\theta$ , 并注意到  $d\Omega_\beta = \sin \beta d\beta d\varphi$ ,  $d\Omega_\theta = \sin \theta d\theta d\varphi$ 。再对屏厚进行积分, 最后可得:

$$I_p = A \int_{\theta_0}^{\pi} \frac{(1+K)^2 \cdot U}{(1+2K+K^2 V)^2} \left\{ 1 + \frac{2K^2 U^4}{(1+2K+K^2 V) [1+K(K+2)V]} - \frac{2(1+K)^2 U^2 V}{1+K(K+2)V} \right\} \cdot \frac{U \sin \theta d\theta}{(1-\cos \theta) (1+K^2) \sin^2 \frac{\theta}{2} + \cos^2 \frac{\theta}{2}} \quad (4)$$

式中  $U = (1+K) / \sqrt{(1+K)^2 + \text{ctg}^2 \frac{\theta}{2}}$ ;  $V = \text{ctg}^2 \frac{\theta}{2} / (1+K)^2 + \text{ctg}^2 \frac{\theta}{2}$ ;  $A = 8\pi r_0^2 \frac{\rho}{A} (1+K) Z$ ;  $\theta_0 = \text{tg}^{-1} \frac{r}{d}$ , ( $r$  为  $P$  点坐标)。

按 (4) 式计算出的  $I(\theta)$  即为考虑增感屏影响后的散射 PSF。

该结果很难由解析表达式给出, 但由 Weierstrass 定理, 我们把它可表示为多项式:

$\sum_{n=0}^n A_n r^n$ ,  $A_n$  为待定常数 只要  $n$  足够大, 它可获任意精度。

在无屏情况, 假定成像底片与物体后边界距离  $d = 1 \text{ mm}$ 。则通过计算可得如下近似公式:

$$d\psi/d\Omega r_0^2 = B \exp \left[ - \left( \frac{r}{\sigma'} \right)^2 \right] \quad (5)$$

式中  $B = \frac{4(1+\gamma)^2}{(1+2\gamma)^2} \left( 1 + \frac{2\gamma^2}{1+2\gamma} \right)$ ,  $\sigma' = \sigma_0 + K(r - r'_0)$ ,  $K$ ,  $\sigma_0$ ,  $r'_0$  为待定常数。若  $r = 1$ , 可取  $\sigma_0 = 0.3$ ,  $K = 0.58$ ,  $r'_0 = 0.0875 \text{ mm}$ 。

在整个  $\theta$  取值范围内, 此公式误差在 5% 之内。当  $\gamma$  变大时,  $\sigma'$ 、 $\sigma_0$  及  $K$  值均相应变小, 即  $d\psi/d\Omega r_0^2 \sim r$  曲线变陡, 此时散射模糊也会相应变小(见图 2)。

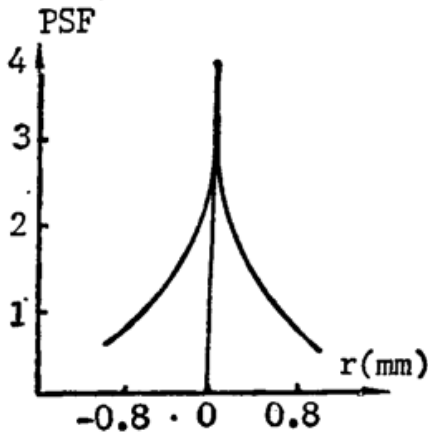


Fig. 2 Scattering point-spread function

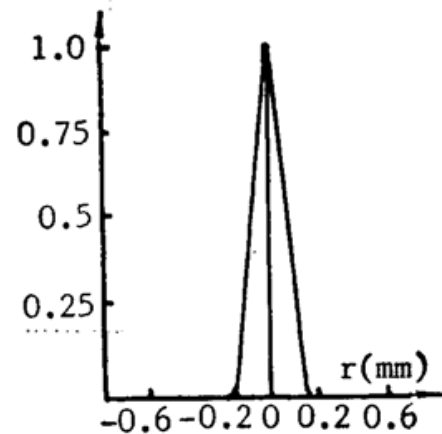


Fig. 3 Function of target

(2) 静态 X SF。光的这里我们来考虑几何效应和散射作用的 P 综合影响。若 X 光源为一有限大小的圆盘时, 由光的传播规律可以算出, 物体上一点在底片前的光强可以用一个三角波来近似, 我们称它为靶函数(见图 3), 将它可表示为:

$$e(r) = \begin{cases} 1 - \frac{2}{W}|r|, & |r| \leq W/2; \\ 0, & \text{其它。} \end{cases} \quad (6)$$

其中  $W$  为三角波的宽度, 而三角波的高度已归一化了。

若将 X 光成像视为空间不变系统, 则散射和几何效应的综合效应可以用卷积形式给出。

若将静态 X 光的 PSF 记为  $i(U)$ , 则:

$$i(U) = s(r) * e(r) = B \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 - \frac{|U-r|}{W/2}\right) \exp\{-[r/(\sigma_0 + K(r-r_0))]^2\} dr. \quad (7)$$

在无屏, 且  $r=r_0$  时, 可得:

$$i(U) = B \sqrt{\frac{\pi}{a}} \left\{ \left(\frac{2U}{W} - 1\right) \operatorname{erf} \left[ \sqrt{a} \left(U - \frac{W}{2}\right) \right] + \left(\frac{2U}{W} + 1\right) \operatorname{erf} \left[ \sqrt{a} \left(U + \frac{W}{2}\right) \right] \right. \\ \left. - \frac{4U}{W} \operatorname{erf}(\sqrt{a}U) \right\} - \frac{2}{Wa} \exp(-aU^2) + \frac{1}{Wa} \exp\left[-a\left(U - \frac{W}{2}\right)^2\right] \\ + \frac{1}{Wa} \exp\left[-a\left(U + \frac{W}{2}\right)^2\right], \quad \left\{ a = \left(\frac{1}{\sigma_0}\right)^2 \right\}. \quad (8)$$

有屏时,  $i(U) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^n A_n r^n \left(1 - \frac{|U-r|}{W/2}\right) dr$ 。

(3) 静态 X 光图像 MTF。若  $I(U)$ ,  $E(U)$ ,  $S(U)$  分别为  $i(r)$ ,  $e(r)$ ,  $s(r)$  的 Fourier 变换, 则有  $I(U) = S(U)E(U)$ ,  $E(U) = \frac{W}{2} \sin^2 c\left(\frac{WU}{4}\right)$ 。在无屏且  $r \approx r_0$  时,  $s(U) = B \mathcal{F} \cdot \left\{ \exp\left[-\left(\frac{r}{\sigma_0}\right)^2\right] \right\} = B \cdot \sigma_0 \sqrt{\pi} \exp[-(\sigma_0 \pi U)^2]$ 。故  $I(U) = \frac{2(1+\gamma)^2}{(1+2\gamma)^2} \left(1 + \frac{2\gamma^2}{1+2\gamma}\right) W \sigma_0 \cdot \sqrt{\pi} \sin^2 c\left(\frac{WU}{4}\right) \exp[-(\sigma_0 \pi U)^2]$ 。

在有增感屏时,最好采用 FFT 程序将 PSF 之值逐点输入计算,然后再将其结果逐点与  $\frac{W}{2} \sin^2\left(\frac{WU}{4}\right)$  之值相乘。

由 MTF 可得滤波曲线,由此即可作 X 光图像复原工作。MTF 的解析结果与计算机结果大体相同。

### 参 考 文 献

- [1] Doglas Venable; LA-3241.
- [2] B. R. Hunt *et al.*; LA-4305.
- [3] Wallis Robert; "Proceeding of the Asilomar Conference on Circuits Systems and Computers", (Pacific Grove, California; Edited by Shu-Park Chan; Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, N. Y., Printed in USA, 11th, 1977), 240~250.
- [4] 土井邦雄; "计测と制御", 1970, 9, No. 11, 811~821.
- [5] W. Heitler; "The Quantum Theory of Radiation", (Oxford at the Clarendon Press, 1954), 220~225.

## Enhancement and restoration of X-ray imaging

LI ZHENGSHUN

(Department of Physics Jiamusi Education Institute, Jiamusi)

WU GUIYING

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 23 November 1987; revised 4 October 1989)

### Abstract

In this paper, we suggest a useful method of enhancement and restoration for X-ray imaging. Enhancement of X-ray imaging is done by adjusting parameter in computer and result is satisfactory.

MTF of X-ray images for stationary body is studied. For simplicity, only the degradation within the intensifying screens and the effects of the extended X-ray source size are considered. We have described the specific analytic MTF in certain cases and results are agreement with foreign computing results.

**Key words:** digital image; X-ray image.