

# 一种基于模糊 MSR 的医学 X 光图像增强算法

龙钧宇,余爱民,余 红

(广东科学技术职业学院,广东 珠海 519090)

**摘 要:**由于医学 X 光图像中存在信噪比低、清晰度差、对比度低等缺点,而普通的图像增强算法很难在增强图像细节特征的同时对图像的背景噪声进行抑制。针对上述问题,将模糊多尺度 Retinex 算法引入医学图像处理的增强算法中:先计算图像中每个像素点的模糊度,再结合模糊度采用多尺度 Retinex 算法对图像进行增强。实验表明该算法比直方图均衡、同态滤波以及普通的多尺度 Retinex 算法增强图像的效果更明显,并能在增强图像的同时,有效抑制图像的背景噪声。

**关键词:**模糊度;多尺度 Retinex;医学图像增强;对比度

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2014)01-0235-03

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.060

## Medical X-ray Image Enhancement Algorithm Based on Fuzzy Multi-scale Retinex

LONG Jun-yu, YU Ai-min, YU Hong

(Guangdong Institute of Science & Technology, Zhuhai 519090, China)

**Abstract:** The medical X-ray radiography images always have the character of low Signal-Noise Ratio (SNR), bad definition and contrast, and it is difficult to reduce the noise while enhancing the detail characters by the custom image enhancement algorithm. According to the problems mentioned above, Fuzzy Multi-Scale Retinex (FMSR) algorithm was applied to medical image enhancement. Firstly the fuzzy degree of each pixel was calculated, then the MSR algorithm was applied combined with fuzzy degree to enhance the image. Experiment shows that compared with the custom image enhancement algorithm as histogram equalization, homomorphic filtering and the custom MSR algorithm, this algorithm can get a better performance, and the noise can be efficiently reduced while enhancing the image.

**Key words:** fuzzy degree; multi-scale Retinex; medical image enhancement; contrast

## 0 引 言

X 射线成像是广泛应用于医疗诊断领域的成熟技术。由于人体的复杂性以及 X 射线成像系统中存在 X 射线散射、电子噪声、光子噪声等不利参数, X 射线的成像结果存在对比度差、细节模糊等问题, 这给医学诊断带来了困难<sup>[1]</sup>。为了便于医生更正确的诊断, 需要对图像进行增强处理。传统的图像增强算法有空间域法和频域法两大类, 空间域法是指直接对构成图像的像素操作的方法, 如直方图均衡法等, 频域法是在频域内以修改图像的傅氏变换为基础对图像进行间接处理, 如同态滤波、小波分析等<sup>[2-3]</sup>, 但这些算法在增强图像的同时, 往往也放大了图像的噪声。小波分析虽然可以利用不同的尺度来区分噪声和细节信息, 但却存在一个阈值的选择问题<sup>[4]</sup>, 且计算较为复杂。

Retinex 理论最早由 Land 等人提出, 后来由 Jobson 等人定义了单尺度 Retinex (SSR) 和多尺度 Retinex 算法 (MSR)<sup>[5-6]</sup>。Retinex 理论的基础是色彩的恒常性, 即人眼对物体色彩的感知取决于物体表面的反光特性, 与入射光无关。Retinex 理论的实质就是从原始图像中获得物体的反射性质, 即抛开反射光的性质来获取物体本来的面貌<sup>[7]</sup>。近年来, Retinex 理论及其相关算法逐渐成为图像增强领域的研究热点。对于医学 X 光图像, 入射光相当于穿过人体入射到成像板上的 X 光强度, 反射光则可认为是人体各部位对入射 X 光吸收系数的变化。因此, 可以利用 Retinex 的入射-反射理论对医学 X 光图像进行处理<sup>[8-9]</sup>。但经 Retinex 理论增强的图像仍存在光晕、整体偏亮、过增强等问题<sup>[7]</sup>, 同时, Retinex 算法对背景噪声的抑制效果也并

收稿日期: 2013-04-07

修回日期: 2013-07-11

网络出版时间: 2013-11-12

基金项目: 广东省 2012 年社会发展重点项目 (2012A030400029); 广东省 2009 年社会发展重点科技计划项目 (2009A030200016)

作者简介: 龙钧宇 (1979-), 男, 湖南双峰人, 讲师, 硕士, 研究方向为图像处理、模式识别等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1626.001.html>

不理想。

图像目标在成像过程中,由于受空间分辨率、光照条件等各种条件的影响,使得背景像素和目标像素具有中间过渡性,这导致目标边缘出现模糊性,因此,利用模糊集的概念处理图像比用普通集更具有合理性。文献[10]将模糊度引入到 SSR 中,文献[11]在文献[10]的基础上,进一步将模糊度引入到 MSR 中,提出了模糊 MSR 算法。但上述文献里计算模糊度采取的是模糊 C-均值聚类法,该方法虽然能较好地消除阴影,但是对噪声却没有较好的抑制效果。文献[12]采用模糊对比度的概念来直接进行图像增强,实验表明该算法虽然能抑制噪声,但容易产生过增强现象。因此,文中针对医学 X 光图像的特点对文献[12]的算法作了改进,重新定义了其隶属度函数,对其增强算法作了修改,并将其与 MSR 结合起来,以达到在增强图像的同时抑制背景噪声的效果。

## 1 模糊多尺度 Retinex (FMSR) 算法

由于采用单尺度 Retinex 算法增强图像容易在图像中的强边缘区域产生“光晕”现象<sup>[11]</sup>,为了避免这一现象,文中采用多尺度 Retinex 算法来对图像进行增强。医学 X 光图像主要为灰度图像,对灰度图像,多尺度 Retinex (MSR) 算法的计算公式如下:

$$r(x, y) = \log R(x, y) = \sum_{k=1}^K \omega_k \{ \log I(x, y) - \log [F_k(x, y) * I(x, y)] \} \quad (1)$$

式中, \* 号为卷积符号;  $\omega_k$  为第  $k$  个高斯函数的加权值;  $K$  是高斯中心环绕函数的个数,也就是尺度的个数;  $I(x, y)$  为原始图像;  $R(x, y)$  为增强后的图像;  $r(x, y)$  为增强后的图像的对数值;  $F(x, y)$  为高斯中心环绕函数,其中  $F_k$  表示第  $k$  个环绕函数,  $F(x, y)$  的计算公式为:

$$F(x, y) = \lambda e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{\delta^2}} \quad (2)$$

式中,  $\delta$  为高斯环绕尺度;  $\lambda$  是一个常数,它的取值必须满足  $\iint F(x, y) dx dy = 1$ 。

一般情况下,  $K$  的取值为 3,  $\omega_k$  的取值为  $1/3$ ,  $c$  的取值可参考文献[13-15]。

模糊多尺度 Retinex 算法的基本思想是在 MSR 算法中引入模糊度的概念,即将公式(1)修改为:

$$r(x, y) = \log R(x, y) = \sum_{k=1}^K \omega_k \{ \log I(x, y) - \log \{ K(x, y) \cdot [F(x, y) * (I(x, y) \cdot \mu(x, y))] \} \} \quad (3)$$

式中,  $\mu(x, y)$  为模糊度;  $K(x, y) = 1 / \iint F(x,$

$y) * \mu(x, y) dx dy$ 。

## 2 模糊度的定义和计算

通过对医学 X 光图像的观察可知,图像中灰度值较大的区域(即较亮的区域)一般为目标区域,灰度值较小的区域(即较暗的区域)一般为背景区域,而灰度值介于二者之间的往往为图像的边缘、细节信息或背景噪声。为了更好地突出图像的边缘和细节信息,对图像中坐标为  $(x, y)$  的像素点,先对其进行灰度拉伸,再定义隶属度函数分别如公式(4)和(5)所示。

$$I'(x, y) = \frac{I(x, y) - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \times 255 \quad (4)$$

$$\mu(x, y) = \left[ \sin \frac{\pi}{2} \times \frac{I(x, y) - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right]^k \quad (5)$$

式中,  $\mu(x, y)$  为模糊度;  $I(x, y)$  为原始图像中坐标  $(x, y)$  处像素点的灰度值;  $I'(x, y)$  为拉伸后的图像;  $I_{\max}$  和  $I_{\min}$  分别为图像中灰度的最大值和最小值,  $k$  为整数且  $k \geq 2$ 。

根据公式(5)定义图像中坐标  $(i, j)$  处像素点的模糊对比度如下:

$$f_{x, y} = \frac{\left| \mu(x, y) - \overline{\mu(x, y)} \right|}{\left| \mu(x, y) + \overline{\mu(x, y)} \right|} \quad (6)$$

式中,  $\overline{\mu(x, y)}$  为图像中坐标  $(x, y)$  处像素点邻域隶属度的平均值。由公式(5)和(6)可知,公式(5)的隶属度实际上是把图像的灰度值归一化后,将灰度值较大或较小的像素点进行压缩,而将灰度值在中间的像素点进行拉伸的结果,这样能更好地突出灰度值在中间的图像边缘和细节信息;而公式(6)在计算模糊对比度的时候,既考虑了当前像素点的隶属度,又考虑了其空间邻域的平滑作用,从而起到了抑制噪声的效果。

针对文献[12]增强模糊对比度时容易产生过增强的现象,文中采用指数法来进行增强,算法如下:

$$f'_{x, y} = f_{x, y}^\gamma \quad (7)$$

$$\mu'(x, y) = \begin{cases} \frac{\mu(x, y)(1 - f'_{x, y})}{1 + f'_{x, y}} \mu(x, y) \geq \overline{\mu(x, y)} \\ \frac{\mu(x, y)(1 + f'_{x, y})}{1 - f'_{x, y}} \mu(x, y) < \overline{\mu(x, y)} \end{cases} \quad (8)$$

式中,  $\mu'(x, y)$  为增强后的模糊对比度;  $\gamma$  为介于 0 到 1 之间的常数。一般而言,  $\gamma$  值越小,则增强效果越明显。根据实际情况,  $\gamma$  的取值一般在 0.6 ~ 0.9 之间(文中取 0.7)。

## 3 文中算法流程

根据上述推导和结论,文中对医学 X 光图像增强

算法步骤如下:

(1)输入原始图像  $I(x,y)$  ,利用公式(4)计算拉伸后的图像  $I'(x,y)$  。

(2)利用公式(5)~(8)计算增强后的模糊对比度  $\mu'(x,y)$  。

(3)将  $I'(x,y)$  、 $\mu'(x,y)$  代入公式(3)中(分别代替公式(3)中的  $I(x,y)$  和  $\mu(x,y)$  ),计算  $r(x,y)$  ,再对其进行指数运算,得到增强后的图像  $R(x,y)$  即为最终的结果。

公式(3)需要进行卷积运算,计算量较大,而在高斯模板中,高斯分布的作用域遵循“ $3\delta$ ”原则,即与中心点距离超过  $3\delta$  的像素点权重非常小,可以忽略不计,因此,为了减小计算量,可将高斯模窗口的半径限定在高斯函数的 3 倍标准差范围内。

4 实验结果及分析

实验采用的原始 X 光图像如图 1(a)所示。为了评估文中算法的性能,分别用直方图均衡、同态滤波以及普通的 MSR 算法与文中算法作对比,实验结果分别如图 1(b)~(e)所示。

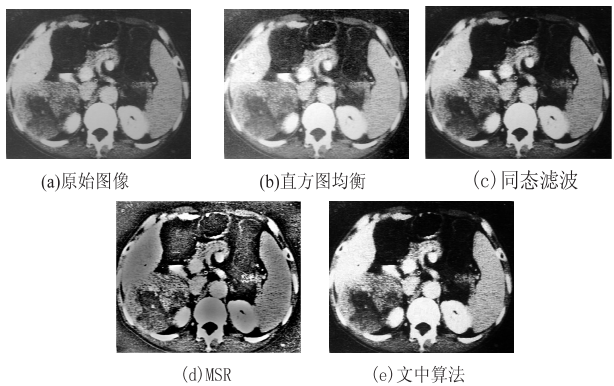


图 1 测试图像及各增强算法得到的结果

由图 1 可以看出,由于原始图像在成像过程中产生了明显的噪声,用直方图均衡(图 1(b))和 MSR 算法(图 1(d))均无法对其进行抑制,特别是用 MSR 算法出现了明显的过增强现象,在增强图像的同时使得噪声信号也更加明显。同态滤波算法(图 1(c))增强后的图像虽然噪声信号不明显,但是增强的效果却并不理想,出现了细节信号和边缘丢失的现象(如图像上方中央的圆圈和边缘)。图 1(e)为文中算法的增强效果,可以看出相对于图 1(b)、(c)而言增强后目标更加突出,而且相对于图 1(b)、(d)而言,噪声信号也得到了有效的抑制。

为了客观评价文中算法的效果,采用信息熵、对比度、峰值信噪比来作为评价指标。关于上述三个指标的定义可参考文献[9,16],最终得到的结果如表 1 所示。

表 1 几种算法的图像增强效果对比

	原始图像	直方图均衡	同态滤波	MSR	文中算法
信息熵	7.17	7.09	7.45	7.10	7.48
对比度		2.00	1.80	1.72	3.03
峰值信噪比		17.03	19.09	17.16	18.89

由表 1 可以看出,虽然同态滤波的峰值信噪比比文中算法稍高,但该算法的对比度却低于文中算法。实际上从图 1 也可以看出,同态滤波算法虽然噪声较弱,但是增强效果也并不明显。而文中算法在各项指标上均高于直方图均衡算法和 MSR 算法,这充分说明了文中算法的有效性。

5 结束语

文中针对医学 X 光图像的特点,提出了一种基于模糊多尺度 Retinex 的图像增强算法,该算法先计算各像素点的模糊隶属度,然后再对模糊隶属度进行非线性拉伸,进而得到每个像素点的模糊对比度。将模糊对比度与 MSR 算法进行结合,得到最终的增强图像。通过与传统的直方图均衡、同态滤波及普通 MSR 算法对照发现,该算法能取得更好的增强效果,并能在增强图像的同时较好地抑制背景噪声。

参考文献:

[1] 张 敏,牟轩沁.一种多尺度 X 射线胸片图像增强算法[J].西安交通大学学报,2010,44(6):83-87.

[2] 刘燕君,刘 奇.基于同态滤波与直方图均衡化的超声图像增强[J].中国组织工程研究与临床康复,2011,15(48):9031-9034.

[3] 杨 静.小波分析在医学图像处理中的应用研究[D].重庆:重庆大学,2011.

[4] 陈一平.图像增强及其在视觉跟踪中的应用[D].长沙:国防科学技术大学,2011.

[5] Jobson D J,Rahman Z,Woodell G A. Properties and performance of a center/surround Retinex[J]. IEEE trans on image processing,1997,6(3):451-462.

[6] Woodell G A,Jobson D J,Rahman Z,et al. Enhancement of imagery in poor visibility conditions[J]. Proceeding of SPIE, 2005,5778:235-237.

[7] Land E,McCann J. Lightness and Retinex theory[J]. J opt soe amer,1971,61(1):1-11.

[8] 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):70-76.

[9] 熊 杰,韩丽娜,耿国华,等.使用类似 Retinex 方法增强数字医学图像[J].计算机工程与应用,2009,45(24):14-16.

[10] 唐 亮,谢维信,黄建军,等.城市航空影像中基于模糊

发布的对应于明文  $m$  的加密文件;合法的用户用自己秘密保管的私钥解密得到明文  $m = \alpha \oplus H(\beta^{-a} \bmod p_i)$ 。

和 Lyuu<sup>[11]</sup> 的方案一样,改进方案在 CDH 难题假设下可以抵抗被动攻击,且具有良好的动态性能。第一个密文分量  $\alpha \in Z_\sigma$ , 而 Lyuu 方案中  $\alpha \in Z_p, \sigma = \min\{p_1, p_2, \dots, p_s\} \ll P = p_1 p_2 \dots p_s$ , 在数据供应商发布的加密文件中,大大节省了信道的带宽,所占用空间约为原方案的 1/2。

如果数据供应商发现盗版或者被告知市面上流通有盗版,他提取盗版解码器中的伪造私钥  $a_k$  和  $P_k$ , 若  $P_k \equiv 0 \bmod p_k$ , 可以断定用户  $ID_k$  参与了盗版;如果无法得到  $a_k$  和  $P_k$ , 依次对每个  $i = 1, 2, \dots, s$  计算  $b \bmod P_i \equiv \gamma_i$ , 加密随机明文  $m_i'$ , 将密文  $(g^{A'}, m' \gamma_i^{A'})$  输入盗版解码器解密得到  $m_i''$ , 当且仅当  $m_i' \neq m_i''$  时,追踪到是参与盗版的叛逆者  $ID_i$ 。

由于  $g$  是模  $p_i (i = 1, 2, \dots, s)$  的公共本原根,生成  $Z_p^*$  中阶为  $2q_1 q_2 \dots q_s$  的子群  $H$ , 这个子群的阶有不少于  $\{q_1, q_2, \dots, q_s\}_{\min}$  的素因子, 同余式组有解当且仅当  $\forall i, j \in [1, s]$ , 都有  $\gcd(m_i, m_j) \mid (a_i - a_j)$ , 且这个解在模下唯一, 并且可以由中国剩余定理给出。世界各大知名公司如苹果、索尼、微软等都在加速数字版权保护技术的研制和完善, 以便于保护自己的合法权益。

7 结束语

中国剩余定理在数学和计算机领域发挥着重要的作用。文中只是列举它在密码学中的一些巧妙应用。许多方案在利用了中国剩余定理后可极大地提高方案运算的速度, 足以显现中国剩余定理的实用性和广泛性。中国剩余定理的数学思想是我国古代数学家的思想精华, 它一直启发和指引着历代专家、学者不断创新

研究,然而中国剩余定理还有很多值得深入研究的地方,运用到当下的科学技术中,相信定会发掘出更大的现实效力。

参考文献:

[1] 杨波. 现代密码学[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[2] 陈泽文,张龙军,王育民,等. 一种基于中国剩余定理的群签名方案[J]. 电子学报,2004,32(7):1062-1065.

[3] Chaum D, Heyst F. Group signature[C]//Proc of the 10th annual international conference on theory and application of cryptographic techniques. Berlin:Springer-Verglag,1991:257-265.

[4] Ateniese G, Tsudik G. Some open issues and new directions in group signature[C]//Lecture notes in computer science. Berlin:Springer-Verglag,1999:196-211.

[5] Kim H J, Lim J I, Lee D H. Efficient and secure member deletion in group signature scheme[C]//Proc of the 3rd international conference on information security and cryptology. London:Springer-Verglag,2000:150-161.

[6] Ateniese G, Tsudik G. Quasi-efficient revocation of group signature[EB/OL]. 2001. <http://eprint.iacr.org/2001/101>.

[7] Blakley G R, Meadows C, Prudy C B. Finger-printing long forgiving messages[C]//Proc of CRYPTO'85. Berlin:Springer,1985:180-189.

[8] Pfizmann B, Schunter M. Asymmetric finger-printing[C]//Proc of EUROCRYPT'96. Berlin:Springer,1996:84-95.

[9] Boneh D, Shaw J. Collusion-secure fingerprinting for digital data[J]. IEEE trans on inform theory,1997,44(5):1897-1905.

[10] 何少芳. 一种基于中国剩余定理的数字指纹体制[J]. 微型机与应用,2009(21):57-58.

[11] Lyuu Y D, Wu Minglun. A fully public-key traitor tracing scheme[J]. WSEA transaction on circuits,2002(1):88-93.

(上接第 237 页)

Retinex 的阴影消除[J]. 电子学报,2005,33(3):500-503.

[11] 汪林林,余梅,安超. 模糊多尺度 Retinex 彩色图像增强[J]. 计算机工程与应用,2012,48(7):174-176.

[12] 李久贤,孙伟,夏良正. 一种新的模糊对比度增强算法[J]. 东南大学学报(自然科学版),2004,34(5):675-677.

[13] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Multi-scale Retinex for color image enhancement[C]//Proc of IEEE image processing. [s. l.]:[s. n.],1996:1003-1006.

[14] Li Tao, Asari V. Modified luminance based MSR for fast and efficient image enhancement[C]//Proc of IEEE applied imagery pattern recognition. [s. l.]:[s. n.],2003:174-179.

[15] 刘茜,卢心红,李象霖. 基于多尺度 Retinex 的自适应图像增强方法[J]. 计算机应用,2009,29(8):2077-2079.

[16] 刘芳. 医学 X 射线图像增强算法研究[D]. 太原:中北大学,2011.



# 一种基于模糊MSR的医学X光图像增强算法

作者：[龙钧宇](#)，[余爱民](#)，[余红](#)，[LONG Jun-yu](#)，[YU Ai-min](#)，[YU Hong](#)

作者单位：[广东科学技术职业学院, 广东 珠海, 519090](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：

ISTIC

[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：

[2014\(1\)](#)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201401060.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201401060.aspx)