

基于 Mask 原理的遥感影像恢复技术研究

胡庆武^{1, 2} 李清泉¹

(1 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

(2 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 从传统摄影复制技术中的 Mask 晒像原理出发, 针对航空航天遥感影像上出现四周减光、照度与颜色不均匀、对比度下降、影像模糊等质量退化情况, 提出将影响影像退化的各种因素综合考虑, 通过一种基于 Mask 的影像复制技术来建立影像降质模型, 并以此 Mask 影像对遥感影像进行恢复处理。试验结果表明, 该恢复算法是可行的。

关键词: 影像恢复; Mask; Wallis 变换

中图法分类号: P237.3

航空航天遥感影像在光学成像、星上传输、存储记录和处理过程中, 不可避免地受到各种因素的影响, 从而造成影像质量下降, 称之为影像退化^[1]。引起航空航天遥感影像质量退化的因素有很多, 如太阳角、大气湍流效应、摄像设备中光学系统绕射、光学系统像差、成像设备与物体的相对运动等^[1]。遥感影像退化主要表现为影像出现四周减光、照度与颜色不均匀, 对比度下降, 影像变模糊, 有噪声等。通常, 也称之为遥感影像的辐射失真。由于引起影像退化的因素很多, 而且性质各不相同, 因而难以找到一个统一的恢复方法。由不同类型传感器生成的遥感影像, 由于误差源的多样性而导致影像退化的原因未知或不能用某种数学函数表达, 这样, 要么面临很多约束问题, 要么面临计算复杂度的问题^[2]。许多人根据不同的物理模型, 采用了不同的退化模型、处理技巧和估计准则, 从而导出了不同的恢复方法。文献[3]采用基于景物灰度分布的自适应恢复技术对离焦图像的恢复取得了较好地效果。文献[4]将贝叶斯估计和遗传算法结合, 在算法中引入线过程, 对退化图像进行恢复, 效果比使用一般的遗传算法对图像恢复效果要好。文献[5]采用局部最大熵较好地改善了影像灰度和对比度不均匀的状况。总的来说, 这些恢复算法具有较强的针对性, 对某种特定类型降质影像会取得较好的恢复

效果。

本文从传统摄影复制技术中的 Mask 晒像原理出发, 针对航空航天遥感影像上出现四周减光、照度与颜色不均匀、对比度下降、影像模糊的质量退化情况, 提出将影响影像退化的各种因素综合考虑, 通过一种基于 Mask 的影像复制实现对影像降质模型的计算, 并以此 Mask 影像对遥感影像进行恢复处理, 该恢复算法无需知道具体的降质函数, 直接从质量退化影像出发定性定位消除降质影响, 实现对影像的恢复, 具有较强的普遍性, 适于大批量影像恢复处理。对具有三种不同降质因素的遥感影像进行试验, 结果表明, 该恢复算法是可行的。

1 基于综合降质影响的影像恢复模型

影像恢复算法一般为已知的退化影像、有关点扩展函数的先验知识和有关噪声的一些统计特性, 对原始影像作估值使之尽可能接近真实景物。由于不同传感器光学特性各不相同, 成像时环境因素也不一样, 影响遥感影像质量退化的因素很难用一个统一的数学模型来表达。实际上, 质量退化影像是真实景物影像与引起遥感影像的退化因素一起作用的结果, 影像恢复的实质就是从退化影像中消除各种退化因素的影响。如果将引起遥感影像退

化的因素作用的综合影响结果视为噪声影像 $n(x, y)$, 则整个成像过程可表示为真实景物影像与噪声影像叠加的过程, 如图 1。

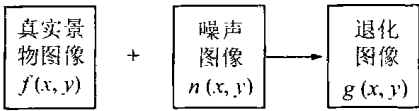


图 1 基于综合降质影响的影像成像过程
Fig. 1 Imaging Model Based Integration
Quality Descending

基于综合降质影响的影像成像模型为简化恢复算法提供了依据, 使得影像恢复处理毋需知道具体的降质函数, 将各种降质因素进行综合考虑, 直接构造噪声影像, 从退化影像中减去噪声影像便可实现对影像的恢复处理。公式为:

$$f(x, y) = g(x, y) - N(x, y)$$
$$x = 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

式中, M 、 N 分别为影像的行、列数。该恢复算法的关键是噪声影像的重建。本文提出的基于 Mask 技术的影像恢复算法就是基于降质因素进行综合处理, 通过 Mask 技术对噪声影像进行重建以实现影像恢复。

2 Mask 原理

Mask 技术是摄影中一种影像复制方法。用一张模糊的透明正片作为遮光板, 这张影像模糊的或边缘不清晰的透明正片称为 Mask, 其制作方式是在负片(经反转后得到的正片为降质影像)和正片相纸之间加一块玻璃。玻璃的厚度可根据模糊程度而定, 经曝光和显影后得到一张模糊的透明正片, 然后将这张模糊的透明正片和负片按轮廓线叠加在一起, 使用硬性相纸晒像使得负片中大反差减小、小反差增大, 以达到反差基本一致, 相邻细部反差增大以得到一张照度与颜色均匀和反差适中的相片, 即恢复影像。图 2 为 Mask 原理示意。

图 2 中, $\Delta D_{\text{负}}$ 为原始负片的反差, 该反差分布不均匀; ΔD_M 为 Mask 反差; ΔD 为叠加晒像的结果影像反差。经过进一步的硬性相纸处理后, 可得到一幅反差适中(ΔD_R)且分布均匀的影像。透明正片的作用是遮光, 负片上密度大的地方, 对应 Mask 上灰度较暗, 能阻止光线的进一步通过, 使得相纸受光量自动减少; 密度小的地方, 对应 Mask 上灰度较高而使得光线容易通过, 使相纸受光量自动增加, 从而消除负片上出现的四周减光、照度与颜色不均匀和对比度下降现象。

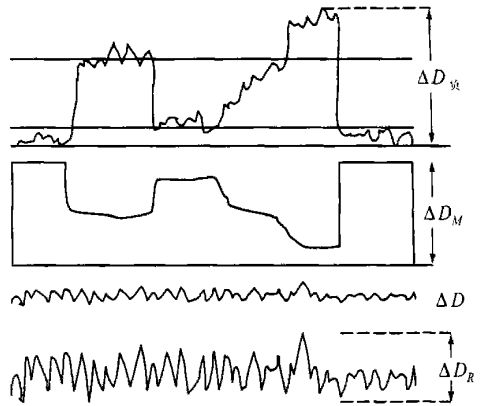


图 2 Mask 原理
Fig. 2 Mask Principle

3 基于 Mask 技术的影像恢复

Mask 复制技术可用于退化影像的恢复处理, 属于基于综合降质因素影响影像恢复算法类型。模糊透明正片和负片叠加晒像的实质是从降质影像中消除成像过程中各种综合噪声的影响, 实现整个成像过程反转。基于 Mask 的影像恢复技术的关键是模糊透明正片的制作, 即对整个成像过程各种降质因素综合影响(即噪声影像)的模拟。各种退化因素对影像的影响表现为退化影像的各种照度、对比度和色调不均及影像模糊, 由负片制作模糊透明正片就是从退化影像中再现各种影响, 即重建噪声影像, 在此基础上利用式(1)实现降质影像恢复处理, 使用硬性相纸晒像是为了保证反差细腻。基于 Mask 技术的影像恢复过程分为 Mask 制作、叠加处理和反差细腻处理三步。为了叙述方便, 负片影像用 $g'(x, y)$ 表示, 降质影像为 $g(x, y)$, Mask 为 $m(x, y)$, 模糊透明正片和负片叠加片为 $f'(x, y)$, 恢复影像为 $f(x, y)$, 则有:

$$\left. \begin{aligned} g(x, y) &= 255 - g'(x, y) \\ f(x, y) &= 255 - f'(x, y) \\ x &= 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, M 、 N 分别为影像的行、列数。

3.1 Mask 制作

Mask 是负片与玻璃叠加晒像的结果, 玻璃的作用一方面是使得像片上细部灰度分布范围变小, 使 Mask 具有透明的效果, 另外一方面是对负片的模糊和平滑处理, 而且不同灰度和反差区域模糊的程度取决于负片清晰度。根据 Mask 的上述特征, 本文提出了针对数字影像的 Mask 制作流程。

3.1.1 基于区域点扩散函数的模糊处理

首先对降质影像进行分块, 分块大小视影像分辨率而定, 一般取 40 像素×40 像素。模糊处理实质上是对降质影像采用滤波算子进行平滑, 根据 Mask 影像的模糊要求, 平滑算子的选择要考虑不同灰度和反差区域清晰度。影像清晰度同模糊程度成反比, 物场中直边地物经降质系统成像后, 其边缘会产生模糊, 如图 3 所示。

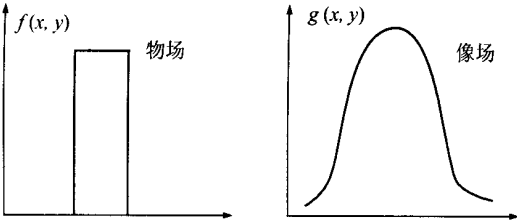


图 3 直边地物的刀刃曲线

Fig. 3 Edge Curve of Object with Straight Side

由图 3 可知, 刀刃曲线的斜率反映了边缘模糊的程度, 用刀刃曲线的斜率来衡量区域影像的清晰度。根据区域影像清晰度因子对不同区域的影像实施模糊处理, 则

$$m(x,y)' = g(x,y) \otimes \frac{1}{P} \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{vmatrix} \quad (3)$$

式中, $m(x,y)'$ 为 Mask 影像。平滑算子的大小可选取 3×3 、 5×5 或 7×7 等, 本文采用 3×3 高

斯模糊算子 $\begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$ 进行平滑; P 为高斯模糊

算子的权, 先分别计算每一分块区域的清晰度因子 $F_p(i)$, 则模糊算子的权值为:

$$P(i) = \frac{1}{16} \left(1.0 + \frac{F_p(i) - \min(F_p(i))}{\max(F_p(i)) - \min(F_p(i))} \right)^{-1} \quad (4)$$

下面给出每一块清晰度因子 $F_p(i)$ 的求法。

分别按行和列寻找直边地物, 可用如下余弦曲线来模拟刀刃曲线:

$$H(x) = A \cos Bx + C \quad (5)$$

式中, x 表示像元坐标; $H(x)$ 表示像元的灰度值。要解出式(5)中 A 、 B 、 C 三个参数, 至少需要三对 $(H(x), x)$ 数据。刀刃反映在数字影像中就是一组灰度值递增或递减的连续像元, 可在分块影像中按一定规律提取出如上特征边缘值, 作为式(5)的初值, 拟合出刀刃曲线^[3-6]。对所求得区域影像的刀刃曲线求导, 可以得到清晰度因子:

$$F_p(x) = -AB \sin Bx \quad (6)$$

取刀刃曲线的中间点来计算, 即令 $Bx = \frac{\pi}{4}$, 可得 $F_p(i)$ 为:

$$F_p(i) = -\frac{\sqrt{2}}{2} AB \quad (7)$$

3.1.2 对数透明压缩处理

对数压缩可较好地减少细部反差, 对平滑后的影像统一取对数, 可得最终的 Mask 影像 $m(x,y)$:

$$m(x,y) = \ln(m(x,y)') \quad (8)$$

3.2 叠加处理

将 Mask 与负片影像叠加, 可得到一幅亮度与反差均匀的 Mask 匀光影像 $f'(x,y)$:

$$\begin{aligned} f'(x,y) &= g(x,y) + m(x,y) \\ x &= 0, 1, \dots, M-1; y = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (9)$$

3.3 反差细腻处理

Mask 匀光片反差均匀而又偏弱。Mask 处理中最后一步要求用硬性相纸晒像以使得反差细腻而更接近于真实景物影像。通过对 $f'(x,y)$ 的 Wallis 变换可实现在增强影像反差的同时又抑制了噪声。在一幅影像中, 令点 (x,y) 的灰度值为 $g(x,y)$, 局部均值 $a(x,y)$ 和方差 $\sigma^2(x,y)$ 是指在以点 (x,y) 为中心的大小为 $(2n_1+1) \times (2n_2+1)$ 窗口内估算得的均值和方差, 其中 n_1, n_2 为正整数, 则 Wallis 变换可以表示为:

$$\begin{aligned} f(x,y) &= [g(x,y) - a(x,y)] \cdot \\ &\frac{\sigma_f^2(x,y)}{\sigma^2(x,y) + (1-c)\sigma_f^2(x,y)} + \\ &ba_f(x,y) + (1-b)a(x,y) \end{aligned} \quad (10)$$

式中, $a_f(x,y)$ 为结果影像局部灰度均值的目标值; $\sigma_f^2(x,y)$ 为结果影像的局部灰度方差值的目标值; $c \in [0, 1]$ 为影像方差的扩展常数; $b \in [0, 1]$ 为影像亮度系数。本文参数的取值范围设定为: c 为 0.75~1.2, b 为 0.8~1.2, $a_f(x,y)$ 为 127~135, $\sigma_f^2(x,y)$ 为 45~55。通过 Wallis 变换可将局部影像的灰度均值和方差映射到给定的灰度均值和方差值, 而在计算影像的局部灰度均值和方差的时候, 引入了平滑算子, 能对噪声进行抑制, 提高影像信噪比, 改善影像质量, 达到硬性相纸晒像的效果。经过 Wallis 反差细腻处理后的影像即为恢复影像。

4 试 验

为了验证本文基于 Mask 技术的影像恢复方法, 分别针对一组由太阳角、大气等成像条件的影响而产生质量退化的航片, 因地形而产生质量退

化的航片和点光源效应原因引起的质量退化的影像进行恢复试验,并分别对影像恢复前后的均方梯度、MTF 面积比、信噪比以及目视效果进行比较。表 1 为恢复前后一些质量参数的对比结果。

表 1 恢复前后质量参数对比结果
Tab. 1 Comparison of Quality Parameter Befor and After Restoring

降质因素	太阳角、大气影响		地形原因		点光源效应影响	
	恢复前	恢复后	恢复前	恢复后	恢复前	恢复后
均方梯度	13. 789	17. 643	12. 902	21. 092	21. 871	40. 336
MTF 面积比	0. 947		0. 981		0. 972	
信噪比	35. 41	38. 32	37. 21	40. 12	36. 54	39. 43

由表 1 中数据可知,运用 Mask 技术进行影像恢复后,影像质量都不同程度地提高,其中均方梯度改善最为明显。图像调制传递函数 MTF 面积可作为评价恢复图像质量的一个指标,MTF 面积越大,图像越清晰;反之图像越模糊,质量越差。另外,由表 1 中数据可知,恢复前后面积比均低于 1.0,表明恢复后图像更清晰(如图 4~图 6),而恢复前后影像信噪比的提高也说明影像质量得到改善。如图 4,从影像恢复前后目视效果可以看出,影像中水域反光严重的现象得到抑制,并且细节地物如船只等得到恢复,较暗的阴影区域的地物得到再现,其他区域的地物影像也得到不同程度的恢复。

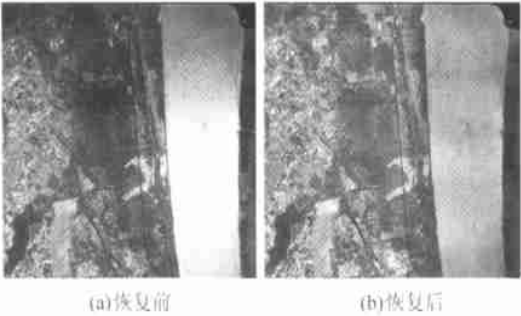


图 4 太阳角反射照度不均航片恢复结果对比图
Fig. 4 Comparison of Illumination Uneven Image Restoration

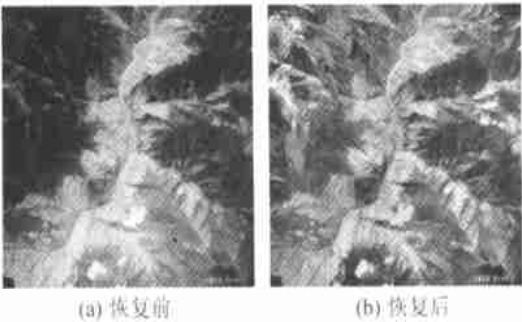


图 5 因地形质量退化航片恢复结果对比图
Fig. 5 Comparison of Quality Descending Image Restoration for Terrain Reason

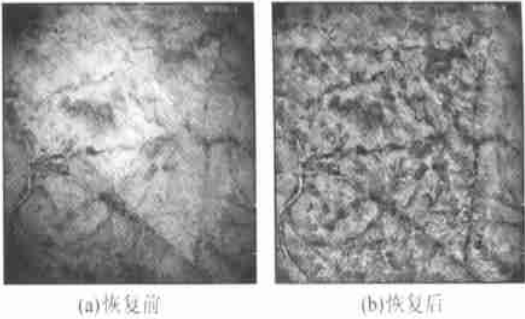


图 6 因点光源远效应质量退化航片恢复结果对比图
Fig. 6 Comparison of Quality Descending Image Restoration for Point Source

因地形而产生质量退化的航片进行 Mask 影像恢复处理后,影像的质量有明显改善,阴影处的地物得到较好的体现,高亮度处的细节也得到了增强,如图 5。

因点光源远效应引起的质量降质航片出现严重的中间曝光过度现象,经过 Mask 影像恢复处理后,整幅影像的灰度与反差分布均匀,中间曝光过度处亮度得到抑制,并且保持反差提高,高亮度处的细节地物也得到很好的体现,如图 6。

5 结 语

本文提出的 Mask 影像恢复算法无需知道具体的成像降质函数,避免了对不同类型传感器设计恢复模型,直接从质量退化影像出发定性、定位消除降质影响,可实现对不同类型的航空影像的恢复,具有较强的普遍性,适于大批量航空影像的恢复处理。

参 考 文 献

1 宣家斌. 航空与航天摄影技术. 北京: 测绘出版社, 1992
2 刘政凯, 瞿建雄. 数字影像恢复与重建. 合肥: 中国科技大学出版社, 1989
3 周松涛, 宣家斌. 基于景物灰度分布特征的影像恢复技术. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24(3): 230~235
4 陈家新. 使用遗传算法对影像进行恢复. 洛阳工学院

学报, 2000, 21(2): 54 ~ 57

5 田金文, 柳 斌, 程 伟. 基于局部最大熵的辐射校正方法. 中国图像图形学报, 1999, 4(1): 41 ~ 45

6 Li Q Q, Hu Q W. Technique of Quasi-lossless Compression of Multiple Spectrum Remote Sensing Images Based on Image Restoration. SPIE, 2001, 4551: 203 ~ 208

第一作者简介: 胡庆武, 讲师。研究方向为遥感图像压缩、恢复及质量评价。

E-mail: qwhu@263.net

Image Restoration Based on Mask Technique

HU Qingwu^{1,2} LI Qingquan²

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University,
129 Luoyu Road Wuhan 430079, China)
(2 Research and Development Center of Spatial Information and Digital Engineering Wuhan University,
129 Luoyu Road Wuhan 430079, China)

Abstract: An image restoration algorithm based on the Mask technique is proposed to deal with the quality descend case of light decreasing around, asymmetry of intensity and hue, declination of contrast, image blur and noise etc. A Mask image is produced to simulate the image quality descend model with considering all the quality descend factors together. And a blocked Wallis transformation is applied to obtain the clear edge and best contrast to the Mask restoration image. The restoration experiments to three kinds of quality descending images show that the restoration technique based on the mask can remove the quality descending affection determined on the nature and position and realize image restoration without knowing the concrete quality descending function.

Key words: image restoration; Mask; Wallis transformation

About the first author: HU Qingwu, lecturer. His research interests are remote sensing image compression, image restoration and image quality assessment.
E mail: qwhu@263.com

(责任编辑: 涓涓)

欢迎订阅《测绘信息与工程》

《测绘信息与工程》为测绘专业应用技术期刊,其宗旨是:贯彻从生产中来、到生产中去的办刊原则,面向测绘行业发展的实际需要,发表对测绘行业具有直接指导作用的技术、管理和教育文章,架设沟通测绘研究与应用联系的桥梁,普及测绘科学新技术,提高测绘行业的技术含量及从业人员的技术水平。本刊开辟的栏目均面向读者需要,并已形成特色和优势,具有较好的社会适应性。本刊为湖北省优秀期刊。

本刊国内外公开发行,读者对象为测绘及相关专业的技术人员、管理人员、教育人员以及大学生、研究生等。本刊为双月刊, A4 开本, 56 面, 逢双月 5 日出版, 每册定价 4.0 元, 邮购价加 25%。本刊邮发代号: 38-316, 请广大读者到各地邮局订阅。漏订者可与本刊编辑部联系补订。