

# 一种数字航空影像的匀光方法

王 密 潘 俊

(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079)

**摘 要** 针对单张数字航空影像不均匀光照现象的成因, 深入研究了马斯克匀光技术在数字航空影像匀光中的应用, 并针对数字航空影像提出了相应的匀光处理的具体流程和实现方法。实验表明该方法可以克服数学模型法的不足, 具有较强的适用性, 对于消除数字航空影像的不均匀光照现象能够取得满意的效果, 从而可以有效地解决单张数字航空影像的色彩平衡问题。

**关键词** 数字航空影像 不均匀光照 色彩平衡 马斯克匀光法

中图分类号: TP751 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)06-0744-05

## A Method of Removing the Uneven Illumination for Digital Aerial Image

WANG Mi, PAN Jun

(State Key Laboratory for Information Engineering in surveying, mapping and remote sensing of Wuhan University, Wuhan 430079)

**Abstract** The uneven illumination of aerial images will cause color or luminance difference in an image frame. The difference will further affect the production quality of digital aerial images and the further applications of them. This paper analyses the causes of the uneven illumination of aerial images and characters of them, and deeply studies the application of the MASK dodging in the aerial images. Then based on the MASK dodging principle, this paper presents the processing flow and the corresponding processing method aiming to remove the uneven illumination of the digital aerial images. Finally the experiment is given, which shows that the method presented by this paper can be applied in many cases and avoid the disadvantages of methods based on the mathematical model. The experiment also shows that the method can achieve a satisfied effect and remove the uneven illumination for digital aerial images effectively.

**Keywords** digital aerial image, uneven illumination, color balance, MASK dodging

## 1 引 言

在数字航空影像的获取过程中, 由于内部和外部环境等因素的干扰, 使得一幅影像内不同部分色调、亮度、反差等存在不同程度的差异。这种现象一般称之为不均匀光照现象。这种不均匀光照现象在数字航空影像上表现为色彩和亮度的不均匀分布。造成这种现象的原因是多方面的。比如光学透镜成像的不均匀性(光通过物镜后在焦平面上的照度从中心向边缘是逐渐减小的), 大气衰减<sup>[1]</sup>, 云层、烟雾影响以及向阳、背阳等造成的光照条件不同等。由于这些因素的影响, 使航空影像呈现出以下几个特点:

光照最强处不一定是影像的几何中心点; 影像亮度以及反差的分布是不均匀的; 不均匀的影像亮度、反差的分布是不规则的, 存在一些不规则的亮度变化和孤立的亮度变异。正是由于这种不均匀光照现象的存在, 直接影响了航空影像和影像镶嵌的质量, 使镶嵌结果呈现出明显的明暗不一, 色彩分布不均, 进而影响了大型无缝影像库色彩平衡的实现<sup>[2]</sup>。同时, 也不同程度的影响了航空影像的应用以及进一步处理(如特征提取、目标识别、分类、解译等)。因此, 对这种不均匀光照现象进行研究和处理, 获得高质量的数字航空影像, 具有重要的理论和实际应用价值。

对数字航空影像进行消除不均匀光照的处理, 称为匀光处理, 也称一幅影像内的色彩平衡处理。当

前,对于航空影像的色彩平衡处理,比较有代表性的处理方法是数学模型模拟影像亮度变化,然后再对影像不同部分进行不同程度的补偿,从而获得亮度、反差均匀的影像。遥感图像处理软件 ERDAS IMAGINE 8.5 中的色彩平衡功能采用的就是这种方法,它提供了 4 种数学模型来模拟影像亮度的变化<sup>[3]</sup>。但是由于造成影像亮度、反差分布不均匀的原因很多,而且是不规则的,因此影像中一些不规则的亮度变化和孤立的亮度变异很可能会导致模拟影像亮度变化的失败,最终严重影响匀光处理的效果。

本文利用传统光学晒印中的马斯克匀光原理,采用数字图像处理技术对不均匀光照的数字航空影像进行了匀光处理,提出了一种数字匀光的基本流程和处理方法。

## 2 马斯克匀光法的原理

匀光技术源于像片的晒印。由于不均匀光照的影响,在晒印像片时,便产生负片透明处曝光量多,

不透明处曝光量少,使得像片上较大密度和较小密度都过多的出现,导致照度不均匀。匀光技术就是在晒印像片时,通过对曝光过强和曝光过弱的地方进行补偿,获得照度均匀的光学像片。

马斯克匀光法又称模糊正像匀光法,它是针对光学像片的晒印提出来的。它是用一张模糊的透明正片作为遮光板,将模糊透明正片与负片按轮廓线叠加在一起进行晒像,得到一张反差较小而密度比较均匀的像片;然后用硬性相纸晒印,增强整张像片的总体反差;最后得到晒印的光学像片。

图 1 是马斯克匀光法的基本原理。图中: $\Delta D_{\text{负}}$  为原始负片影像反差; $\Delta D_{\text{模}}$  为模糊透明正片影像反差; $\Delta D$  为原始负片与模糊透明正片叠加后的影像反差; $\Delta D_{\text{正}}$  为叠加后用硬性相纸晒印的像片影像反差; $\delta_{\Delta D}$  为负片与模糊透明正片叠加后的相邻细部影像反差; $\delta_{\Delta D_{\text{正}}}$  为用硬性相纸晒印后的相邻细部影像反差。负片与模糊透明正片叠加在一起的影像的反差为

$$\Delta D = \Delta D_{\text{负}} + (-\Delta D_{\text{模}}) = \Delta D_{\text{负}} - \Delta D_{\text{模}}$$

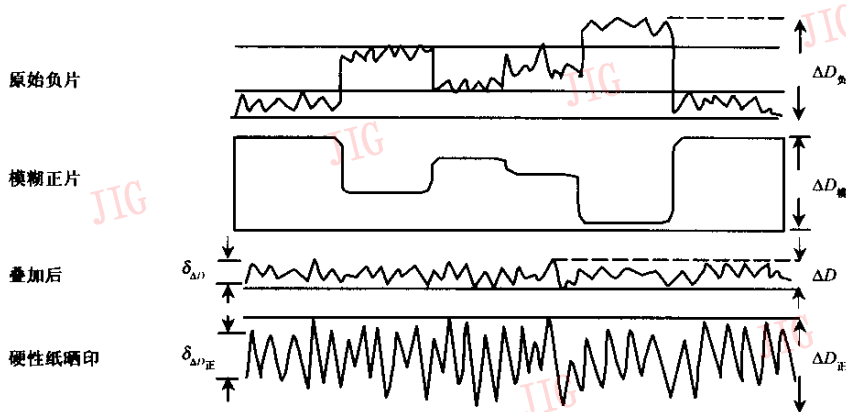


图 1 马斯克匀光法原理

马斯克匀光法不仅可以保证不减小整张像片的总体反差,而且还可以使像片中大反差减小,小反差增大,得到反差基本一致的、相邻细部反差增大的像片,因此,对于光学影像的晒印,该方法可以有效的消除不均匀光照现象,在实际的像片晒印过程中得到了广泛的应用。

## 3 数字航空影像的匀光处理

马斯克匀光法是针对传统的光学像片照度不均匀提出的一种处理方法。根据马斯克匀光的基本原理,采用数字图像处理技术对数字航空影像进行

匀光处理。

### 3.1 马斯克匀光的基本处理流程

按照马斯克匀光的原理,对存在不均匀光照的数字航空影像采用如下数学模型进行描述:

$$I'(x, y) = I(x, y) + B(x, y) \quad (1)$$

式中, $I'(x, y)$  表示不均匀光照的影像, $I(x, y)$  表示理想条件下受光均匀的影像,也即是通过匀光之后希望获取的影像, $B(x, y)$  表示背景影像。按照式(1),不均匀光照的影像可以看成是由受光均匀的影像叠加了一个背景影像的结果,获取的影像之所以存在不均匀光照现象是因为背景影像的不均匀造成的。如果能够很好地模拟出影像的背景影像,将其

从原影像中减去就可以得到受光均匀的影像,从而消除影像的不均匀光照现象。数字航空影像的匀光流程如图2所示。

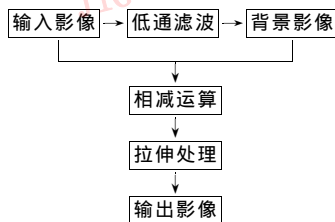


图2 利用马斯克匀光法原理对数字航空影像进行匀光的基本流程

具体的处理过程如下:

(1) 对输入影像进行低通滤波处理,获得近似的背景影像。

(2) 将输入影像与获得的背景影像做相减运算,即

$$I_{out} = I_{in} - I_{blur} + offset \quad (2)$$

式中,  $offset$  是偏移量,之所以加上一个偏移量,是为了使处理后影像的像素灰度值分布在 0 到 255 之间。同时,偏移量的值决定了结果影像的平均亮度,比如取 128,则结果影像的平均亮度为 128 左右。如果要保持原影像的平均亮度,则偏移量可取原影像的亮度均值。

(3) 对  $I_{out}$  进行拉伸处理。由于相减运算会使影像灰度值的动态范围变小,减小影像的总体反差,因此需要进行拉伸处理以增大影像的总体反差。

从频率域角度考虑,在一幅影像中,高频空间信息表现为像素灰度值在一个狭小像素范围内急剧变化,而低频空间信息则表现为像素灰度值在较宽像素范围内逐渐改变。高频信息包括边缘、细节以及噪声等;低频信息则包括背景(通常表现为在整幅影像内阴影的逐渐变化)等<sup>[4]</sup>。背景影像主要包含原影像中的低频信息,将原影像与背景影像做相减运算也就去除了原影像中的一些低频信息,产生了一张主要包含高频信息的影像。对得到的影像进行拉伸处理,则主要起到了增强高频信息的作用。整个处理过程在抑制低频信息的同时,增强了高频信息。这样处理后,结果影像各像素灰度值与原影像中各部分像素灰度值变化的快慢(即频率域中的频率)密切相关,而与像素灰度值大小并无太大关系。灰度值变化的快慢主要取决于地物的反差,对于原影像中那些偏亮或者偏暗的部分,尽管灰度值偏高或者偏低,但灰度值变化的快慢却基本一致,所以通过这种处理

基本就可以消除影像的不均匀光照现象。

### 3.2 背景影像的生成

背景影像的生成是数字匀光处理流程中的一个关键步骤,背景影像生成的质量直接影响最终的匀光效果。考虑到影像不均匀的亮度和反差分布是不规则的,很难用一个数学模型来描述,所以采用低通滤波的方法来处理。由于代表影像色调和亮度的变化位于影像的低频部分,因此,通过低通滤波方法获取的影像低频部分可以作为近似背景影像,反映影像背景照度的变化<sup>[5]</sup>。

采用低通滤波的方法来获得近似的背景影像,选取合适的低通滤波器是至关重要的。由于要将滤波后的影像作为背景影像,而背景影像只反应影像的亮度变化,并不表达影像的细节信息,因此,滤波器的尺寸通常较大。对于大尺寸滤波器的选取,考虑的主要因素是滤波器的空间域误差和频率域误差。首先,因为观察景物中的变化一般都要在空间上定位,所以滤波器在空间上要平稳,空间位置误差要小;其次,低通滤波器本身是一个带通滤波器,这个通带限制了灰度变化的范围,所以也要求滤波器在这个有限的通带内是平稳的,频域误差要小。但这两个分别来自空间域和频率域的要求是相互冲突的。如果设空间域误差为  $\Delta x$ ,频率域误差为  $\Delta \omega$ ,信号理论将它们的关系描述为

$$\Delta x \Delta \omega \geq \frac{1}{4\pi} \quad (3)$$

最佳滤波器的选择,就是要最佳化这个关系。在空间域中,典型的低通滤波器有均值滤波器、高斯滤波器和中值滤波器等<sup>[5]</sup>。目前来看,只有高斯滤波器可以同时空间域和频率域达到最佳<sup>[6]</sup>,故选用高斯滤波器作为低通滤波的滤波器来生成背景影像。

在选定滤波器以后,另一个需要考虑的问题是滤波器尺寸的大小,由于原影像要与背景影像进行相减运算,背景影像所包含的信息会从原影像中被去除,滤波器尺寸的大小选取不当会导致较多的信息丢失。因此,滤波器尺寸的大小同样也是计算背景影像的一个主要参数,它也决定着背景影像的生成质量。由于背景影像只反应影像的亮度变化,不表达细节信息,这就要求滤波器能够将反映细节的信息滤掉,因此滤波器尺寸与影像的内容有关;对地物性质不同、分辨率不同的影像,滤波器的尺寸也是不同的。这样,滤波器的选取就成为一个复杂的问题,对于如何自适应确定最佳的滤波器尺寸,目前还没有

合适的解决办法。因此,本文在实验的基础上给出了滤波器经验值,同时将滤波器尺寸的大小作为一个匀光参数,可以在实际操作中由用户调节。

### 3.3 结果影像的拉伸方法

输入影像与背景影像的相减运算会使整张影像的反差变小,为了增大相邻细部反差,同时提高整张影像的总体反差,需要对相减的结果影像进行拉伸处理,这个过程与马斯克匀光最后用硬性相纸晒印的过程类似。采用如下的对比度拉伸的方法来处理,即将灰度值范围同时向两端延伸。

$$Output = \begin{cases} \frac{255 \times (input - value)}{255 - 2 \times value} & \text{如果 } value > 0 \\ \frac{input \times (255 + 2 \times value)}{255} - value & \text{如果 } value < 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $value$  为对比度拉伸参数,取值范围为  $(-127, 127)$ ,处理后  $output$  的值如果小于 0,则令其为 0;如果大于 255,则令其为 255。经过拉伸后的影像既是经过匀光处理后的结果影像。

## 4 实验结果及分析

为了验证方法的实际效果,本文对多幅数字航空影像按照上面的处理流程进行了数字匀光实验,取得了预期的研究效果。图版 I 图 1 所示是其中的一例。

由于涉及到影像的色调和亮度,对于匀光处理结果的评价是一个主观性很强的问题,目前还没有一个统一的客观评价标准。遵循处理结果要反差适中、图像清晰、信息丰富、便于目视解译的原则,保持原影像的平均亮度,尽量不改变原影像总体色调,只对原影像做适量的增强,而不过分增大影像反差,并且增强时尽量保持原影像信息不丢失<sup>[7]</sup>;同时,从定性和定量两个方面来进行分析。定性方面,本文主要采用目视判读的方法来分析;定量方面,考虑到均值可以反应亮度变化,而平均梯度可以反应影像中微小细节反差与纹理变化特征,同时也表达影像的清晰度,本文主要结合均值、平均梯度等统计参数来分析<sup>[8,9]</sup>。

(1) 定性方面 从目视结果看,图版 I 图 1(a) 原影像左上角和右下角亮度明显偏低,地物的色调

也出现了偏离现象,同种地物与其他部分相比呈现出了不同的色调,而中间部分则亮度偏高。经处理后,图版 I 图 1(d) 影像则基本消除了不均匀光照现象,影像各部分亮度已经趋于一致,极大地改善了原影像的目视效果;左上角和右下角亮度偏低的情况已经得到极大改善,色调偏离的情况也已经基本消除,影像中同种地物色调基本一致;中间部分亮度偏高的情况也得以减弱;而且影像整体亮度以及色调均基本保持不变。同时,还可以看到,虽然图版 I 图 1(a) 影像在处理时 4 角的框标没有去掉,但这并没有影响到最终的处理结果,这说明这种方法适应性很强,能够避免影像中一些不规则的亮度变化和孤立的亮度变异造成的影响,有效地克服了数学模型方法的不足。

(2) 定量方面 表 1 比较了图版 I 图 1(a) 原始影像与它匀光后的图版 I 图 1(d) 影像 5 个局部部分以及整体的均值、平均梯度等统计参数。平均梯度采用下式计算<sup>[9]</sup>

$$\nabla \bar{G} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\Delta_x f(i, j)^2 + \Delta_y f(i, j)^2]^{1/2} \quad (5)$$

式中,  $\Delta_x f(i, j)$ ,  $\Delta_y f(i, j)$  分别为像素  $(i, j)$  在  $x, y$  方向上的一阶差分。5 个局部部分分别对应影像的左上角、右上角、左下角、右下角和中部,局部影像的大小均为  $256 \times 256$ 。从表中的统计数据可以看出,

表 1 图版 I 图 1 中影像(a)与影像(d)各部分统计参数比较

| 局部 | 通道 | 影像(a)  |       | 影像(b)  |       |
|----|----|--------|-------|--------|-------|
|    |    | 均值     | 平均梯度  | 均值     | 平均梯度  |
| 左上 | 红  | 116.75 | 26.11 | 124.95 | 28.96 |
|    | 绿  | 104.45 | 39.56 | 115.95 | 43.66 |
|    | 蓝  | 109.68 | 29.21 | 118.25 | 32.41 |
| 右上 | 红  | 144.81 | 31.19 | 126.51 | 34.62 |
|    | 绿  | 146.39 | 41.06 | 117.99 | 45.21 |
|    | 蓝  | 147.61 | 30.41 | 119.95 | 33.77 |
| 中间 | 红  | 143.86 | 29.34 | 126.41 | 32.57 |
|    | 绿  | 146.86 | 35.48 | 117.80 | 39.36 |
|    | 蓝  | 139.94 | 26.82 | 119.81 | 29.77 |
| 左下 | 红  | 131.12 | 21.09 | 125.61 | 23.39 |
|    | 绿  | 129.43 | 30.09 | 116.85 | 33.26 |
|    | 蓝  | 122.22 | 21.51 | 118.53 | 23.84 |
| 右下 | 红  | 92.10  | 22.66 | 124.91 | 25.12 |
|    | 绿  | 70.14  | 37.87 | 115.91 | 41.97 |
|    | 蓝  | 77.76  | 25.96 | 118.05 | 28.78 |
| 整体 | 红  | 125.61 | 26.25 | 125.45 | 29.07 |
|    | 绿  | 118.36 | 36.61 | 119.57 | 40.35 |
|    | 蓝  | 119.85 | 27.20 | 118.75 | 30.11 |

图版 I 图 1(a)影像中左上和右下部分每个通道的均值都明显偏低,而右上和中间部分则明显偏高,处理后图版 I 图 1(d)影像各部分每个通道的均值基本趋于一致,而且结果影像基本保持了原影像的均值;同时,影像各个局部和整体的平均梯度值都比原影像稍稍有所提高,这说明影像无论是相邻的细部反差,还是影像的总体反差都得到了了一定程度的增强。

## 5 结 论

本文分析了单张航空影像不均匀光照现象的成因以及航空影像的特点,将传统的马斯克匀光原理运用到数字航空影像的匀光,提出了相应的实现方法和实现流程。实验表明该方法可以克服数学模型法的不足,具有较强的适用性。对于消除数字航空影像的不均匀光照现象能够取得满意的效果,能够有效地消除数字航空影像的不均匀光照,达到匀光的目的和效果。目前,该方法已经应用到航空影像的影像镶嵌软件中。

对于背景影像的生成,采用的是低通滤波的处理方法,通过试验和理论分析选取了合适的高斯滤波器,但是对于高斯滤波器尺寸大小,只是通过实验给出了经验值。虽然用户可以自定义滤波器的尺寸,但如何根据不同影像来自动选取滤波器的尺寸仍是需要进一步考虑的问题。

### 参 考 文 献

1 朱述龙,张占睦. 遥感图像获取与分析[M]. 北京:科学出版社, 2000.

- 2 王密. 大型无缝影像数据库系统(GeoImageDB)的研制与可量测虚拟现实(MVR)的可行性研究[D]. 武汉:武汉大学,2001.
- 3 ERDAS IMAGINE 8. 5 Procedures[EB/OL]. <http://support.erdas.com>,2003-8-05.
- 4 Gonzalez R C. 数字图像处理(第2版)[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- 5 Pilu M, Pollard S. A light-weight text image processing method for handheld embedded cameras[A]. In: Proc. British Machine Vision Conference[C], Cardiff University, UK, 2002; 547~556.
- 6 王润生. 图像理解[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1995.
- 7 杨文久,刘心季. 不同时相遥感图像的镶嵌技术[J]. 国土资源遥感,1994,2(20):46~51.
- 8 王智均,李德仁,李清泉. Wallis 变换在小波影像融合中的应用[J]. 武汉测绘科技大学学报,2000,25(4):338~342.
- 9 李德仁,关泽群. 空间信息系统的集成与实现[M]. 武汉:武汉大学出版社,2000.



王 密 1974 年生,博士,副研究员,2001 年于武汉大学获摄影测量与遥感专业博士学位。主要研究方向为海量空间数据管理和发布、无缝影像数据库系统的设计、研制及立体无缝影像数据库和可量测虚拟现实等。



潘 俊 1979 年生,硕士研究生,2002 年于武汉大学获信息工程专业学士学位。主要研究方向为图形图像处理和计算机视觉。



(a) 双三次插值



(b) 改进的算法

图1 彩色图像的增强( $a=2$ )

王 密等：一种数字航空影像的匀光方法



(a) 原始数字彩色航空



(b) 近似背景影像(滤波器尺寸为80)



(c) 影像(a)减影像(b)后的影像



(d) 对影像(c)拉伸后的影像( $v=10$ )

图1 匀光实验