

基于图像退化模型的遥感成像仿真的研究

吴 峰,朱锡芳,相入喜,赵春雨,刘 鹏

(常州工学院,电气与光电工程学院,江苏 常州 213032)

摘 要: 分析受云雾干扰的遥感成像过程,介绍图像退化模型,在讨论云层透过率函数的基础上,提出当云雾均匀分布、渐变分布和局部云雾覆盖三种情况下的遥感成像仿真方法,解决单幅遥感图像去云雾处理算法研究中缺少参考图像的问题,给出具体的仿真步骤和实施方法.实验表明,所提出的方法运算效率高,成本低,为检验和客观评价单幅遥感图像去云雾处理算法准备具有多样云雾状态的图像数据,推动相关技术研究.

关键词: 退化模型;遥感成像;去云雾处理;仿真

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)08-0141-04

Study on Remote Sensing Simulation Based on Image Degradation Model

WU Feng, ZHU Xi-fang, XIANG Ru-xi, ZHAO Chun-yu, LIU Peng

(School of Electroninc & Phtoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213032, China)

Abstract: The remote sensing imaging process is analyzed. The image degradation model is introduced. On the basis of discussing the cloud transmission function, the method of remote sensing imaging simulation is proposed in the three cases that the clouds are evenly, gradually or locally distributed. The problem lacking reference images is solved during the studies of the cloud removal algorithms for single images. Detailed simulation procedures and implementation methods are presented. Experiments prove that the proposed method has good running efficiency and low cost. It provides large amount of images with various cloud distributions for the test and objective evaluation of cloud processing algorithms for single images, and promotes the studies on the corresponding technologies.

Key words: radiation model; remote sensing; cloud removal; simulation

1 引言

云雾是对地遥感成像过程中的常见干扰源,使得遥感图像对比度低,景物不清晰.数字图像处理技术能有效减少遥感图像中云雾的影响,增强图像清晰度和可读性,降低重复采集目标图像的成本,应用灵活,成为遥感领域的研究热点.

在众多去云雾处理方法中,单幅遥感图像去云雾方法只需一幅图像,图像采集成本低、周期短、效率高,灵活性强.然而由于不能直接获取云区内的景物信息,此类方法去云雾处理难度高.在单幅遥感图

像去云雾处理研究中,由于缺少对应的无云清晰图像来参照,一般通过计算处理结果的平均亮度、梯度、熵、标准差等参数来客观评估单幅图像去云处理算法^[1].但是研究发现,这些参数值和主观评价结果往往不一致,甚至有很大差别,很难通过参数确定最佳的处理效果.为此,迫切需要研究遥感成像仿真方法,依据清晰的参照图像,产生有云雾覆盖的遥感图像,从而客观检验和正确评价去云处理算法.

国外从上世纪 90 年代就开始研究遥感成像仿真方法^[2-3].

在国内,中科院长春光机所和中科院安徽光机

所分别开发了包含三维虚拟场景和传感器系统响应的遥感成像模拟仿真软件^[4]. 中国科学技术大学等^[5-6]也提出了光学遥感偏振成像仿真的方法.

以上研究成果提高遥感产品的精度和使用价值^[7]. 相关产品通常研发成本高, 仿真计算量大, 较少关注云雾干扰问题.

2 遥感成像模型

根据在云雾干扰状态下的图像退化模型^[8], 遥感卫星对地成像的过程如图 1 所示, 卫星捕获的遥感成像信息主要有两部分组成.

首先, 从太阳发出射向地面的光线, 经过云层反射, 被卫星捕获. 设这部分成像信息为 I_1 .

其次, 另一部分太阳光透过云层照射到地面, 被地面景物物体反射, 而射回天空, 同时再次穿过云层, 最终被卫星捕获. 设这部分成像信息为 I_2 .

如果太阳光初始强度为 L , 云层透射率为 t , 云层衰减系数和地面景物反射率分别为 α 和 r , 那么遥感成像过程可表示为

$$I = I_1 + I_2 = L(1 - t) + \alpha L r t \quad (1)$$

式中, I 表示卫星拍摄的遥感图像.

若大气中没有云雾, 那么 $\alpha = t = 1$, 卫星拍摄得到的遥感图像只包含地物信息, 这即是无云雾遮挡的清晰遥感图像, 可表示为

$$J = Lr \quad (2)$$

则式(1)可修改为

$$I = L(1 - t) + \alpha J t \quad (3)$$

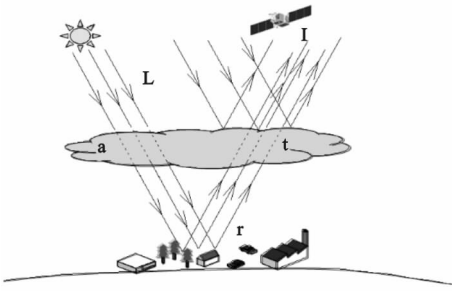


图1 受云雾干扰的遥感成像模型

云层透射率 t 反映了云层覆盖的薄厚、云层浓度的变化以及云的分布状况. 根据辐射传输方程^[9], t 可表示为

$$t = \exp\left(-\int_0^d \beta ds\right) \quad (4)$$

式中, d 表示景物到遥感相机的传输路径长度, β 表示与光散射相关的传输介质消光系数. 云层透过率 t 越大, 云层的遮挡作用越不明显. 当 $\beta = 0$ 时, $t = 1$,

此时无云干扰. 由于 t 的取值范围为 $0 \sim 1$ 之间的小数, 而 $d > 0$, 因此限定 $\beta > 0$.

3 遥感成像模拟方法

由以上分析可见, 在已知清晰无云对地遥感图像 J 的情况下, 依据式(3)和(4), 可模拟不同云雾覆盖状态下的遥感成像, 输出受云雾遮盖的遥感图像. 为此考虑如下情形.

(1) 当 t 为与传输路径长度无关的常数时, 遥感图像中的云层将均匀覆盖.

(2) 当 β 为常数时, 即 $t = e^{-\beta d}$, 此时 β 决定了 t 值所反映的云雾变化状况. 由于 $\beta > 0$ 时, 随着 d 的增大, t 值逐渐减小, 云层变厚, 透过率降低, 遥感图像中景物随着距离增加越来越模糊. 设遥感图像像素数为 $M \times N$, 以 (x, y) 表示像素点的位置, x 和 y 的取值范围分别为 $[1, N]$ 、 $[1, M]$. 为便于说明, 规定在图像坐标系中, 坐标原点位于图像的左上角, x 沿水平方向, 且向右为正方向, y 沿垂直方向, 向下为正方向. 为便于模拟云层浓度可以沿着需要的方向渐变, 对于每个像素点对应的传输距离 d 表示为

$$d(x, y) = x \cos \varphi + y \sin \varphi \quad (5)$$

式中, φ 表示云层厚度渐变的方向, 指的是该变化方向与水平正方向的夹角. φ 取值范围为 $-90^\circ \sim 90^\circ$, 规定从水平正方向转向该渐变方向, 若顺时针转动, 则为 φ 正, 否则为负. 沿着渐变方向, 云层透过率逐渐增强, 图像变清晰. 当 $\varphi = 0^\circ$ 时, 云层沿着水平方向, 从左往右逐渐变薄. 当 $\varphi = 90^\circ$ 时, 云层沿竖直方向, 从上往下逐渐变薄.

(3) 对于局部云覆盖的情况, 云区中心比较厚, 从中心往四周云层变薄, 但云层厚度随距离的变化无规律可循. 因此, 实际云层覆盖可近似看作是由很多个具有不同轴长的椭圆形均匀覆盖的云层叠加而成的, 由此可模拟云层局部覆盖状态下的遥感成像.

每个云层均匀覆盖的椭圆区域可表示为式(6), 那么它们的透过率函数可表示为式(7).

$$\frac{[(x - x_0) \cos \theta_i - (y - y_0) \sin \theta_i]^2}{a_i^2} + \frac{[(x - x_0) \sin \theta_i + (y - y_0) \cos \theta_i]^2}{b_i^2} \leq 1 \quad (6)$$

$$t_i(x, y) = \begin{cases} k_i, & \text{当}(x, y) \text{ 满足式(6) 时} \\ 0, & \text{其余} \end{cases} \quad (7)$$

式中, i 为大于 0 的整数, θ_i 表示该椭圆长轴与水平正方向的夹角, 以模拟云的不同走向. (x_0, y_0) 表示云中心在图像中所处的位置. k_i 取一个 0 和 1 之间的

一个常数值,表示第 i 个均匀覆盖云的透过率。

根据以上分析,本文提出一种在云雾干扰下遥感成像的仿真方法,过程如图2所示,步骤具体描述如下。

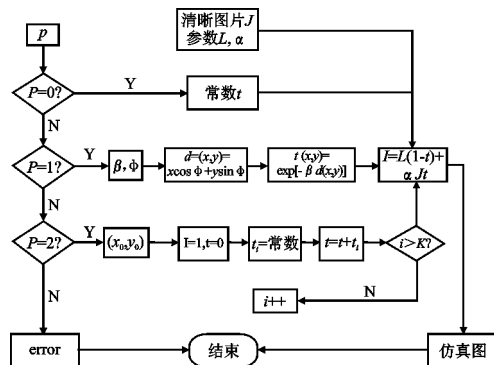


图2 遥感成像的仿真流程

(1) 初始化. 输入已知的一幅清晰无云雾的遥感图像 J , 和用于选择仿真云雾覆盖类型的参数 p . 选择太阳光入射强度 L 和云层衰减系数 α 为某一常数, 其中 $0 < \alpha < 1$. 设图像 J 的像素数为 $M \times N$.

(2) 如果 $p = 0$, 那么设定云层透过率 t 为 0 至 1 之间的某个常数, 转向步骤(6), 开展具有均匀云雾覆盖的遥感成像仿真. 否则, 执行下一步。

(3) 如果 $p = 1$, 那么取传输介质消光系数 β 为大于 0 的一个常数, 并选择一个角度 φ , 根据式(4)和(5), 计算透过率 t , 转向步骤(6). 否则, 执行下一步。

(4) 如果 $p = 2$, 那么先产生 K 个椭圆形区域, 并随机产生各椭圆的长轴长和短轴长, 长轴与水平正向的夹角 θ_i 也是随机数. 第 i 个区域的云层透过率 t_i 为 0 至 1 之间的一个常数, 而此区域以外的透过率为 0. 将所有 K 个椭圆形区域的云层透过率 t_i 叠加起来, 生成总的透过率 t , 然后转向步骤(6). 否则, 执行下一步。

(5) 当输入的参数 p 不是 0、1 或 2, 则输入无效, 不能开展仿真。

(6) 根据计算得到的云层透过率 t , 按照式(3), 计算并输出遥感仿真图像。

4 仿真实验与评价

选择一幅在晴天利用低空无人机航拍得到的原始图像, 像素个数为 512×512 , 如图3所示, 图中地面景物很清晰。

为方便起见, 选择太阳光入射强度 L 为 1, 云层衰减系数 α 为 0.9。



图3 原图

当选择参数 $p = 0$ 时, t 选为 0.6, 那么按照式(3), 得到的仿真结果如图4(a)所示, 可见仿真结果中图片整体能见度降低, 云雾对景物的遮挡较为均匀. 若 t 选为 0.4, 得到的仿真图如图4(b)所示, 相比于图4(a), 地面景物能见度更低, 遮挡更严重, 但覆盖的云雾仍较均匀。



(a) $t = 0.6$

(b) $t = 0.4$

图4 均匀云雾覆盖的仿真图

当选择参数 $p = 1$ 时, 取 $\beta = 3$, $\varphi = 60^\circ$, 仿真图像如图5(a)所示, 得到的透过率等高线图如图5(c)所示, 可见, 透过率沿着与水平正向成 60° 的方向逐渐增大, 沿着该方向景物逐渐变清晰. 当 $\beta = 1.5$, $\varphi = -60^\circ$ 时, 仿真图像如图5(b)所示, 透过率等高线图如图5(d)所示, 可见透过率沿着与水平正向成 -60° 方向变化, 沿着该方向, 透过率逐渐增加, 景物越来越清晰. 比较发现, 相同条件下, 云雾浓度随着 β 值增大, 云层遮挡变得严重. 可见, 本文通过选定 β 和 φ 值, 改变云雾浓度及其渐变的走向, 产生遥感成像仿真图。

当选择参数 $p = 2$ 时, 取 $\beta = 3$, $K = 8$, (x_0, y_0) 取为图像中心, 仿真图像如图6(a)所示, 图中心附近区域有明显的云雾覆盖, 其余部分景物很清楚, 和原图一致. 取 $\beta = 2.5$, (x_0, y_0) 取为 (350, 285) 时, 仿真图像如图6(b)所示, 云区处于坐标 (350, 285) 附近, 且浓度较图6(a)中弱. 可见, 本文提出的方法能通过调整 (x_0, y_0) 值规定局部覆盖的云雾在图中出现的位置, 通过调整 β 值改变云层厚度。

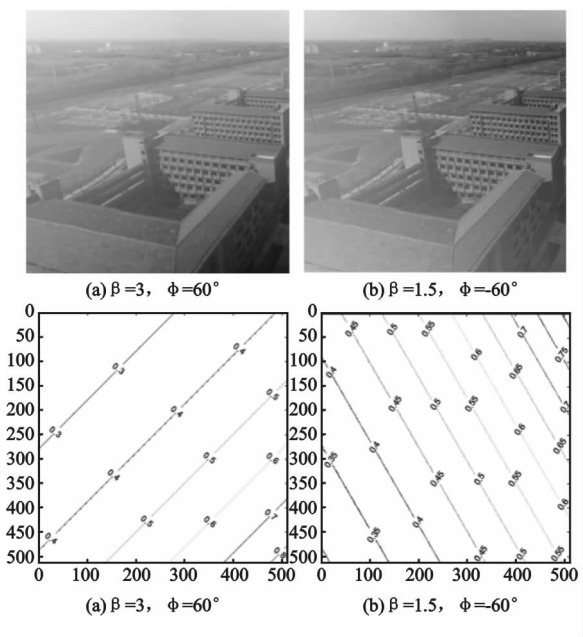


图 5 云雾渐变分布的仿真结果

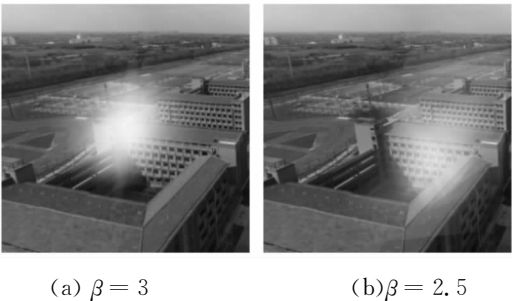


图 6 局部云雾覆盖的仿真图

5 结束语

根据有云雾状态下的遥感图像退化模型,设计大气透过率函数,采用清晰无云雾污染图像,有效仿真并得到了云雾均匀分布、渐变分布或局部覆盖的遥感图像.在仿真过程中,大气透过率函数是决定云雾分布和浓度的关键因素.本文提出的仿真方法能为研究单幅遥感图像去云雾处理算法、客观评价算

法性能提供丰富的图像数据,操作简便.由于本文并未估计实际景物到相机的距离,仿真结果与实际状况还有差异,下一步工作将开展采用图像处理方法主动计算景物深度方面的研究.

参考文献:

[1] 吴峰,朱锡芳,华国栋,等. 基于云层系数的遥感图像去云雾算法[J]. 光学技术,2015, 41(5):419-424.

[2] Martina E, Gascona F. DART: a 3D model for simulating satellite images and studying surface radiation budget[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(1):73-96.

[3] Michael D P, Kerekes J P. Modeling and measurement of optical polarimetric image phenomenology in a complex urban environment[J]. IEEE, 2010, 4389-4392.

[4] 易维宁,顾有林,杜丽丽,等. 光学遥感图像仿真软件 ORSIS 介绍[J]. 大气与环境光学学报. 2007; 2(6): 459-463.

[5] 黄红莲. 光学遥感偏振成像仿真与验证方法研究[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2015.

[6] 黄晓敏. 机载光学遥感成像物理特性建模与仿真[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.

[7] 孙伟健,林军,阮宁娟,等. 国外光学遥感成像系统仿真软件发展综述与思考[J]. 航天返回与遥感, 2010, 31(3):70-75.

[8] Raanan Fattal. Dehazing using color-Lines[J]. ACM Trans. Graph, 2014, 34(1): 1-14.

[9] Carr P, Hartley R. Improved single image dehazing using geometry[C]// Digital Image Computing: Techniques and Applications. IEEE, 2009;103-110.

作者简介:

吴 峰 男,(1978-),博士,副教授.研究方向为数字图像处理、光电信号处理、光学系统设计.

朱锡芳 男,(1965-),博士,教授.研究方向为数字图像处理、光学、应用电子.