

·测试、试验与仿真·

一种基于低空图像的红外场景仿真方法研究

宋庆峰, 吕绪良, 隋明序, 卢爱军

(解放军理工大学, 南京 210007)

摘要: 为了获得较逼真的红外图像, 提出了一种利用低空图像反演红外图像的新方法。首先, 利用改进的K-均值聚类算法将低空图像按照不同的地物属性进行材质分类, 进而计算出特定波段内进入仿真红外热像仪的总辐射能, 并模拟传感器成像原理得到仿真红外图像。结合该算法和实测环境气象参数完成了某区域红外场景序列图的生成。实验结果表明, 该方法生成的时序图与实拍红外图像的变化规律基本一致, 从而为低空图像仿真生成红外图像提供了一种有效途径。

关键词: 红外图像; 仿真; K-均值; 灰度; 分类

中图分类号: TN216

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-01-0076-04

Research on Infrared Scene Simulation Method Based on Low-level Image

SONG Qing-feng, LV Xu-iang, SUI Ming-xu, LU Ai-jun

(PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: For getting more real Infrared images, a new method of retrieving Infrared images using low-level images is proposed. Firstly, low-level images with different material properties are classified according to ground material properties using improved K-means clustering algorithm. And then, the total radiant energy into simulation Infrared thermal imaging system in special bands is calculated. And simulation Infrared images are obtained through simulating sensor imaging principle. The generation of Infrared scene sequence images in some area is finished with the algorithm and real measurement environment meteorological parameters. Experimental results show that the sequence images generated with the method basically accord with the change rules of real Infrared images, so an effective way is provided for low-level images simulation generation.

Key words: Infrared image; simulation; K-means; gray level; classification

随着红外技术的不断发展, 红外成像系统被广泛应用^[1]。常规红外图像主要是通过红外热像仪获取, 而高精度的红外热像仪由于价格昂贵等因素还没有普遍应用, 且热像仪只能获取特定时间、特定天气的瞬时图像, 不能获得实时图像, 对于一些较为特殊气象和地理环境, 红外热像仪所能获取的图像数据量相对不足, 无法满足日益迫切的需求。因而开展低空可见光图像反演仿真间接得到红外图像的研究是十分有必要的^[2], 且有助于对红外数据进行分析。

1 低空图像反演红外图像的过程

利用低空图像反演红外图像的过程即模拟红外热像仪输出红外图像的过程^[4]。反演仿真的关键是由可见光图像所反映的背景地物目标信息, 分析计算进入红外热像仪的总的辐射亮度, 再根据热像仪红外成像的原理生成仿真所得红外图像。一般的低空图像反演红外图像主要分为四步: 背景地物材质分类; 分割地域的属性设置; 温度场模型建立; 输出红外图像。其一般流程如图1所示。

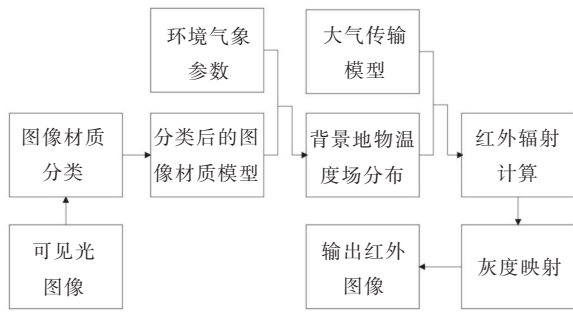


图1 红外图像反演的一般流程

1.1 背景地物材质分类

通常,决定物体红外辐射的主要因素包括物体本征发射率和表面温度两种。物体的表面温度是由各种复杂因素共同决定的,而发射率则跟物体的材质属性有关。因此,要仿真得到红外特征图像,除了要获取物体的表面温度,还要对低空图像进行材质属性的划分,进一步得到不同背景地物的材质信息,并最终得到不同地域对应材质的发射率等参数。

K均值聚类(K-means clustering),是一种基于样本间相似度量的聚类方法,已经较成熟的应用到材质分类领域和图像分割领域^[9]。选择适当的聚类中心在K均值聚类算法中非常重要。结合低空图像场景大、人工目标较突出的特点,文中采用文献[9]中获取初始聚类中心的方法,完成了聚类计算。图2为北京附近某区域低空可见光图片。

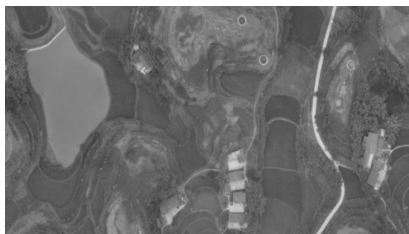


图2 北京附近某区域低空图像

图3为该方法分类后的土壤区域示意图(图中白色区域),可以看出,分类结果基本满足了低空大场景仿真的需要。



图3 土壤区域图

1.2 设置分割区域的属性

图像分割为若干区域后,根据分类结果,分别设置各个区域不同材质的发射率参数。之后,根据图片拍摄时的实际状况,设置传感器的位置和当时的天气情况;设置传感器的波段范围、海拔高度以及环境温度、最高和最低大气温度、湿度、风速和能见度等相关大气参数^[3]。

目标区域气象参数的测定,通过TYD-SCW1型手持气象站完成。测量了该区域中午12:00到下午18:00的气象参数,通过Origin软件每隔15 min获得部分参数变化曲线,作为反演的气象输入。图4、图5分别为温度、相对湿度随时间变化曲线。

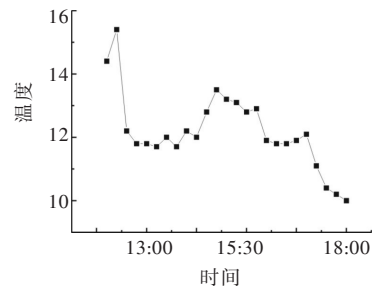


图4 温度随时间变化曲线

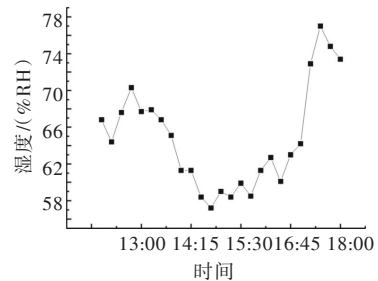


图5 相对湿度随时间变化曲线

1.3 温度场模型建立

完成材质分类和参数确定之后,还需对背景地物的温度场进行建模分析。太阳辐射、环境温度以及天空大气辐射等是影响目标表面温度的三个主要气象因素。而有些参数无法实地实时测量,应该建立影响其红外特性(温度)参数的模型^[3]。

(1) 太阳辐射

无云时太阳在水平地面上的辐照度 E_{s0} 为^[11]

$$E_{s0} = [1 - A(U^*, \beta)](0.349E_0) \sin \beta + \left(\frac{1 - \rho_0}{1 - \rho_0 \rho_g} \right) (0.651E_0) \text{sh } i\beta \quad (1)$$

式中, $\bar{\rho}_g$ 为区域地标反射率; ρ_0 为瑞丽大气反射率。 $E_0=1\ 390\ \text{W}/\text{m}^2$, 为垂直太阳射线的平均福照度; β 为太阳高度角; $A(U^*, \beta)$ 为吸收系数。

瑞丽大气反射率为^[1]

$$\rho_0 = 0.085 - 0.247 \lg\left(\frac{P_a}{P_0} \sin \beta\right) \quad (2)$$

式中, P_a 为近地面大气压(单位为 hPa); $P_0=1\ 000$ (单位为 hPa)。

太阳高度角 β 的计算表达式为^[1]

$$\sin \beta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (3)$$

式中, δ 为太阳赤纬; ω 为时角; φ 为地理纬度。

太阳赤纬 δ 可根据日序计算^[1]如下

$$\delta = \arcsin(0.398 \sin SL) \quad (4)$$

$$SL = 4.87 + 0.017\ 5day + 0.033 \sin(0.017\ 5day)$$

$$day = 30(mon - 1) + md$$

式中, day 为日序; md 为该月的日期; mon 为一年中的月份。时角根据下式计算^[1]

$$\omega = (t - 12) \frac{\pi}{12} \quad (5)$$

式中, t 为从正午算起的地方时。 $A(U^*, \beta)$ 也可由经验公式得到, 详见文献[1]。

(2) 环境温度

环境温度即为空气温度, 具有逐年、逐日周期性变化的特性。一天的空气温度具有二阶傅里叶变化的趋势^[3]

$$T_{air}(t) = g_0 + g_1 \cos \omega(t - b_1) + g_2 \cos 2\omega(t - b_2) \quad (6)$$

式中, t 表示时间; ω 为角频率, $\omega = 2\pi/T$, 周期 $T=24\text{h}$; b_1, b_2, g_0, g_1, g_2 为待测定参数。文中的所用空气温度为实测温度。

(3) 天空大气辐射

天空大气辐射是影像地物表面温度的另外一个重要参数。这是因为, 大气通过吸收一定的地球和太阳的热量, 具有了一定的温度, 也会向目标进行辐射。其表达式为

$$W_{sky} = C \cdot C \cdot \varepsilon_{sky} \sigma T_{sky}^4 F_{sky} \quad (7)$$

式中, $C \cdot C$ 为云层影响因子; ε_{sky} 为大气的等效发射率; σ 为玻耳兹曼常数; T_{sky} 表示大气温度; F_{sky} 表示目标表面对大气等效灰体平面辐射角系数。

1.4 红外图像的输出模拟

通常利用红外热像仪对物体进行成像拍摄时, 红外热像仪接收到的辐射包括目标自身的辐射、目

标对周围环境的反射辐射和大气辐射, 这些辐射经过大气衰减, 最后到达探测器^[2]。所以热像仪接收的总的辐射能量可表示为

$$W_{detector} = \varepsilon \tau W_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau W_{amb} + (1 - \tau) W_{atm} \quad (8)$$

式中, ε 表示物体表面发射率; τ 表示大气平均透过率; $(1 - \tau)$ 表示探测距离内的平均大气发射率。

W_{obj} 为目标自身辐射, 表达式为

$$W_{obj} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)} d\lambda \quad (9)$$

式中, λ_1, λ_2 为探测器波长参数; $C_1=3.742 \times 10^{-16}\ \text{W} \cdot \text{m}^2$; $c_2=1.438\ 8 \times 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{K}$ 。

W_{amb} 主要包括太阳辐射、天空大气辐射和反射地面辐射, 是目标反射的环境辐射总量。即

$$W_{amb} = W_{sun} + W_{ground} + W_{sky} \quad (10)$$

W_{ground} 由下式得到:

$$W_{ground} = \varepsilon_{ground} \sigma T_{ground}^4 F_{ground} \quad (11)$$

式中, F_{ground} 为目标表面对地面辐射的角系数; ε_{ground} 为地面发射率; T_{ground} 为地面温度。

W_{atm} 为探测器接收到的红外环境辐射^[3]

$$W_{obj} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T_{atm}} - 1)} d\lambda \quad (12)$$

式中, T_{atm} 为空气温度。

得到模拟红外热像仪接收到的红外辐射 $W_{detector}$ 后, 由辐射亮度与辐射能量的线性关系, 通过灰度和辐射亮度的映射模型, 就可以生成目标场景的红外图像, 灰度映射模型模拟热像仪接收到红外辐射, 即灰度转换的过程可由下式表示

$$P = 225 \cdot \left[(1 - a) \cdot \frac{L - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} + a \right] \quad (13)$$

式中, $[]$ 为取整函数; P 为对应辐射强度 E 的灰度值^[3]; L 的含义为像素的孔径辐射(即应用于传感器的效应的辐射); L_{min}, L_{max} 分别为最小/最大辐射亮度; a 对于特定场景来说是一个固定值, 它实际值的计算与探测器的初始设定和具体场景有关, 近似于为红外环境光的等效值。 $1 - a$ 为传感器的增益。 a 的取值范围为 $0 \leq a < 1$ 。根据辐射亮度与灰度值的对应关系, 最终输出预定灰度限的红外图像。

2 实验结果与分析

图6所示四幅图像是对1.1节中图2进行红外场景仿真后得到的12时、14时、16时和18时四个特征时

刻的红外序图,对应的时间天气参数如下所示。时间:2014年11月10日;地点:北京郊区;温度和相对湿度变化情况如图3、图4所示;地面类型:山地;天气情况:晴;风力:无风;热像仪工作波段:8~14 μm 。

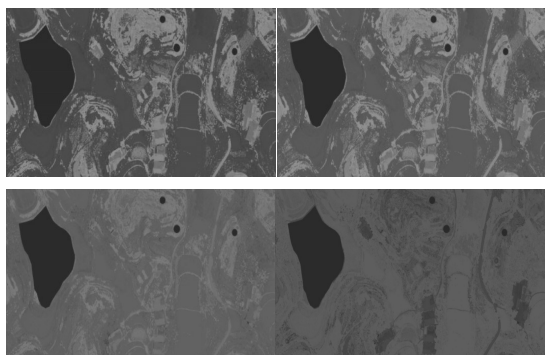


图6 场景4个时刻(12时/14时/16时/18时)的红外时序图像

图6给出的是相同条件下以2h为间隔红外辐射的日变化情况,亮度越高表示材质辐射值越大。从图中可以看出在下午14时左右,辐射值达到最大值符合红外地物辐射规律的客观事实。并且在下午18时,水的温度最高,树木和草次之,路的温度最低;在14时,水的温度最低,且路面的温度最高。这种辐射值的反转,也符合各种材质不同时段的辐射值变化的客观规律,因为水的比热最大,中午吸收环境热辐射温度上升得最慢,而接近傍晚温度下降的也最慢,而屋顶、道路的情况恰好与水相反。

3 结 论

由实验结果可知,文中所研究的红外场景仿真

方法,较好地反映出了不同地物材质的不同时间点的红外变化规律,基本满足了红外图像应用的需要。下一步还需仿真多个时段,并继续完善传热模型的传热精度,以达到更逼真的仿真效果。

参考文献

- [1] 张建奇.红外物理[M].西安:西安电子科技大学出版社,2013.
- [2] 武国军,白廷柱,白获宁.基于可见光图像的红外图像反演研究[J].2011,33(10):574-579.
- [3] 陈珊,孙继银.基于低空图像的红外场景仿真[J].红外与激光工程,2009,38(1):23-26.
- [4] 罗晓春,孙继银,刘婧,等.利用反演低空图像的方法实现红外图像的获取[J].红外与激光工程,2008,37(5):773-776.
- [5] 蔡毅,胡旭.短波红外成像技术及其军事应用[J].红外与激光工程,2006,35(6):643-647.
- [6] 陶文铨.数值传热学[M].西安:西安交通大学出版社,2001.
- [7] 吕相银,凌永顺,黄超超.地面目标表面温度及红外辐射的计算[J].红外与激光工程,2006,35(5):563-567.
- [8] 邵晓鹏,杨威,张建奇.自然地面背景红外图像生成方法研究[J].红外与激光工程,2000,29(3):11-14.
- [9] 王丽芳.可见光遥感图像分割算法的研究[D].西安:西安电子科技大学,2013.
- [10] 张俊华,沈国土,杨宝成,等.真实自然地表的红外辐射特性研究[J].红外与激光工程,2007,36(4):485-487.
- [11] 吕相银,凌永顺,黄超超,等.地面目标表面温度及红外辐射的计算[J].红外与激光工程,2006.

版 权 声 明

本刊已成为《中国核心期刊(遴选)数据库》收录期刊、《中文科技期刊数据库》收录期刊、《中国期刊全文数据库》全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、美国《乌利希期刊指南》收录期刊,并加入中国光学期刊网,所刊载的文章在国内外数据库检索机构及网站(包括纸板、光盘版、网络版)报道时,不再征求作者意见。稿件刊登录用后作者著作权使用费与本刊稿酬一次性付给,并赠送当期样刊两份。