

文章编号: 1672-8785(2006)01-0001-04

大气对红外热像仪成像仿真的影响

刘其涛

(潍坊医学院物理教研室, 山东 潍坊 261042)

摘 要: 提出了仿真热像仪红外图像的大气修正方法。以在一定高度下得到的红外图像为基础, 借助于 MODTRAN 软件, 进行了任一高度热像仪成像仿真。并在美国标准大气、热带大气、中纬度冬季大气和中纬度夏季大气模式下进行了红外图像的仿真试验。

关键词: 大气; 热像仪; 仿真

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Influence of Atmosphere on Simulation of Infrared Thermal-imager Imaging

LIU Qi-tao

(Weifang Medical College, Weifang 261042, China)

Abstract: An algorithm for atmospheric correction on simulating infrared images is proposed. On the basis of airborne thermal infrared images, the infrared images obtained at different heights are simulated with the help of MODTRAN. Simulating experiments have been performed in four different atmosphere modes.

Key words: atmosphere; thermal-imager; simulation

1 引言

考虑到安全等因素, 低空情况下的热像仪成像已不能满足现代军事的需要。为了便于能满足更高要求的热像仪的研制, 对由低空热像仪得到的红外图像进行高空热像仪的红外图像仿真已成为一种趋势。红外成像的仿真是在时间、空间、光谱和辐射量等方面, 对原始景物的红外辐射分布进行的一种模拟。影响红外成像的因素很多, 包括大气辐射、环境辐射、大气对红外辐射的衰减等。这些因素决定了红外图像仿真的难度和复杂的计算度^[1]。目标和背景的红外辐射特性是红外热像仪设计的主要依据^[2], 所以在红外成像仿真中, 必须计算场景每一成像面元在红外热像仪成像面上对应像元的辐射。红

外辐射在到达热像仪光学系统之前必然要通过大气, 因而会由于受到大气吸收和散射的影响而被衰减, 同时, 大气是固有辐射源, 到达热像仪的热辐射携带有大气本身的信息^[3], 因此, 进行红外图像仿真, 首先要进行大气修正。

本文以热像仪在一定高度下得到的红外图像为基础, 根据红外成像的原理, 借助于 MODTRAN 软件进行大气修正, 得到了不同大气模式下不同高度的仿真图像, 为课题的下一步工作打下了基础。

2 大气修正原理

2.1 辐射传输方程

根据热辐射传输方程, 传感器接收到的单色热辐射亮度值由三部分组成^[4], 即

收稿日期: 2005-06-30

基金项目: 国防预研基金资助项目 (51403040203QT0701)。

作者简介: 刘其涛 (1977—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 助教, 主要从事图像处理、图像仿真方面的研究。

$$L_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} L_{b\lambda}(T_s) t_{\lambda} \varphi_{\lambda} + L_{a\lambda}^{\uparrow} \varphi_{\lambda} + t_{\lambda} \varphi_{\lambda} \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{a\lambda}^{\downarrow}(\theta') \cos \theta' d\Omega' \quad (1)$$

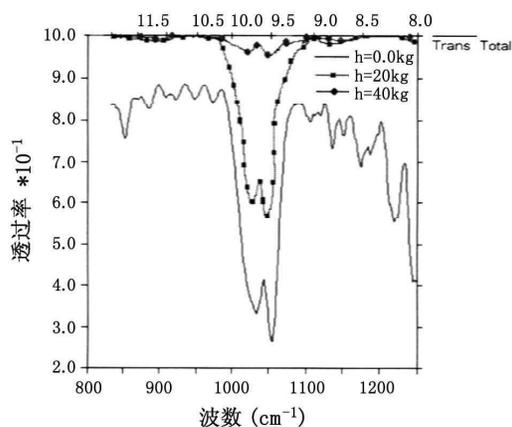
式中, L_{λ} 为传感器接收到的 λ 波长的热红外辐射亮度, $L_{b\lambda}(T_s)$ 为地表物理温度为 T_s (单位为 K) 时 λ 波长的普朗克黑体辐射亮度, ε_{λ} 为 λ 波长的地表比辐射率, t_{λ} 为 λ 波长从地面到传感器的大气单色透过率, φ_{λ} 为传感器在 λ 波长的光谱响应函数, $L_{a\lambda}^{\uparrow}$ 为 λ 波长大气上行辐射, $L_{a\lambda}^{\downarrow}(\theta')$ 为天顶角 θ' 时 λ 波长大气下行辐射, $f(\Omega' \rightarrow \Omega)$ 为地表双向反射分布函数, $\int_{2\pi}$ 为积分符号, 代表半球积分, $d\Omega'$ 为微分立体角。

式 (1) 中第 1 项是地表热辐射经大气削弱后被传感器接收到的热辐射亮度, 第 2 项为大气上行辐射亮度, 第 3 项是大气下行辐射经地表反射后再被大气削弱最终被传感器接收到的辐射亮度。

对于响应波段为 λ_1 到 λ_2 的热像仪, 对式 (1) 进行积分, 得出热像仪接收到的总辐射亮度值

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{\lambda} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\varepsilon_{\lambda} L_{b\lambda}(T_s) t_{\lambda} \varphi_{\lambda} + L_{a\lambda}^{\uparrow} \varphi_{\lambda} + t_{\lambda} \varphi_{\lambda} \int_{2\pi} f(\Omega' \rightarrow \Omega) L_{a\lambda}^{\downarrow}(\theta') \cos \theta' d\Omega' \right] d\lambda \quad (2)$$

2.2 不同高度下热像仪成像的仿真原理



(a) 大气透过率随高度的变化

为了便于讨论, 我们在此假设原始图像是热像仪在飞机平台上得到的, 要进行卫星平台上热像仪成像的仿真。

假设载有传感器的飞机平台高度是 h_1 , 载有同样传感器的卫星平台高度是 h_2 , $L_{1\lambda}$ 为飞机平台上传感器接收到的 λ 波长的热红外光谱辐射亮度, $L_{2\lambda}$ 为卫星平台上传感器接收到的 λ 波长的热红外光谱辐射亮度, λ 波长的辐射在飞机平台到卫星平台间的大气透过率是 t_{λ} , 大气上行辐射是 L_{λ}^{\uparrow} , 传感器在 λ 波长的光谱响应函数是 φ_{λ} , 则由大气辐射传输公式得出

$$L_{2\lambda} = \left(\frac{L_{1\lambda}}{\varphi_{\lambda}} \times t_{\lambda} + L_{\lambda}^{\uparrow} \right) \times \varphi_{\lambda} = L_{1\lambda} t_{\lambda} + L_{\lambda}^{\uparrow} \varphi_{\lambda} \quad (3)$$

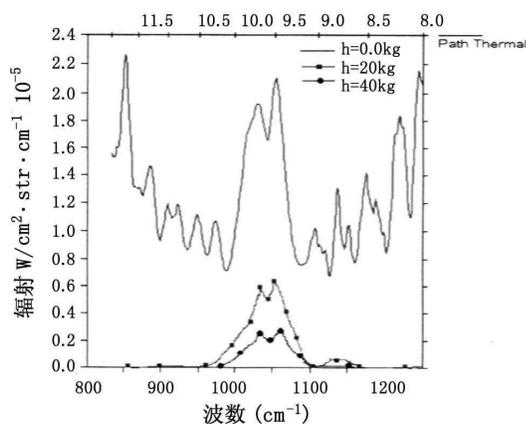
若热像仪对 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段响应, 则对式 (3) 积分, 得到热像仪总辐射亮度值

$$L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{2\lambda} d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (L_{1\lambda} t_{\lambda} + L_{\lambda}^{\uparrow} \varphi_{\lambda}) d\lambda \quad (4)$$

式 (4) 就是图像间数据变换的计算公式。

由式 (4) 我们可以得到热像仪侦察图像每个像素点的亮度值, 对图像的全部像素点作同样的大气修正, 则可得到卫星仿真图像。

图 1 是在相同的大气参数下, 利用 MODTRAN 软件计算的大气透过率和大气热辐射随高度的变化规律 (图上方数据的单位是 μm , 图



(b) 大气热辐射随高度的变化

图 1 高度的影响

2、图 3 同)。计算条件是: 美国标准大气模式, 农村气溶胶模式, 能见度为 23km, 路径为由空间到观测站, 天顶角为 0° , 观测站高度分别取 0km、20km 和 40km, 工作波段为 $8\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ 。由图可以看出, 观测站位置越高, 其大气的透过率越大 (即衰减越小), 大气的热辐射越小; 高度越低, 大气透过率越小 (即衰减越大), 大气的热辐射越大。这是因为大气衰减和热辐射与传输路径有关, 路径短了, 衰减就少, 辐射也小; 路径长, 衰减就大, 热辐射也大。而且随着高度的增加, 衰减的速率越来越小, 大气热辐射也迅速减少, 这是由于随着高度的增加, 大气分子越来越稀薄的缘故。可以看出, 当离地面超过 40km 时, 大气的衰减和热辐射基本不存在, 因此, 在利用 MODTRAN 软件计算大气透过率及红外热辐射时, 我们可以将卫星平台的高度看作距地面 100km 处 (MODTRAN 软件所提供的空间最大距离也是 100km)。

2.3 大气模式的影响

不同的大气模式有不同的大气成分及结构, 因此大气的吸收和热辐射也就不相同。

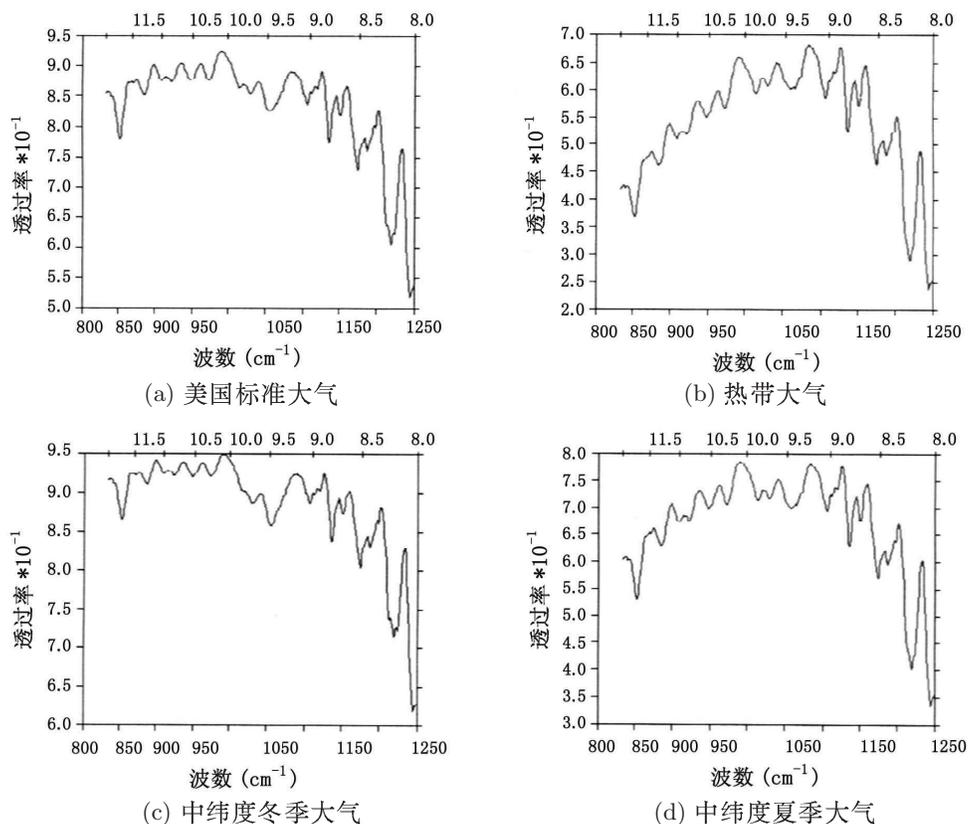


图 2 大气模式对透过率的影响

图 2、图 3 是相同条件下的不同大气模式的大气透过率及大气热辐射。

从图 2 和图 3 可以看出, 不同大气模式的大气透过率及大气热辐射有相当大的差别, 因此, 在进行红外热辐射的图像仿真时, 必须明确是哪种大气模式条件。

3 仿真结果与分析

本文以飞机平台上热像仪拍摄到的红外图像为基础, 分别在美国标准大气、热带大气、中纬度冬季大气和中纬度夏季大气模式条件下, 进行了卫星平台上图像的仿真。

如图 4 所示, 图 4(a) 是热像仪在飞机平台上得到的图像, 图 4(b)、图 4(c)、图 4(d) 和图 4(e) 分别是在美国标准大气、热带大气、中纬度冬季大气和中纬度夏季大气模式下得到的仿真图像。

4 结论

进行红外图像仿真时, 大气影响是必须考虑的因素。根据课题要求^[5], 本文以一定高度

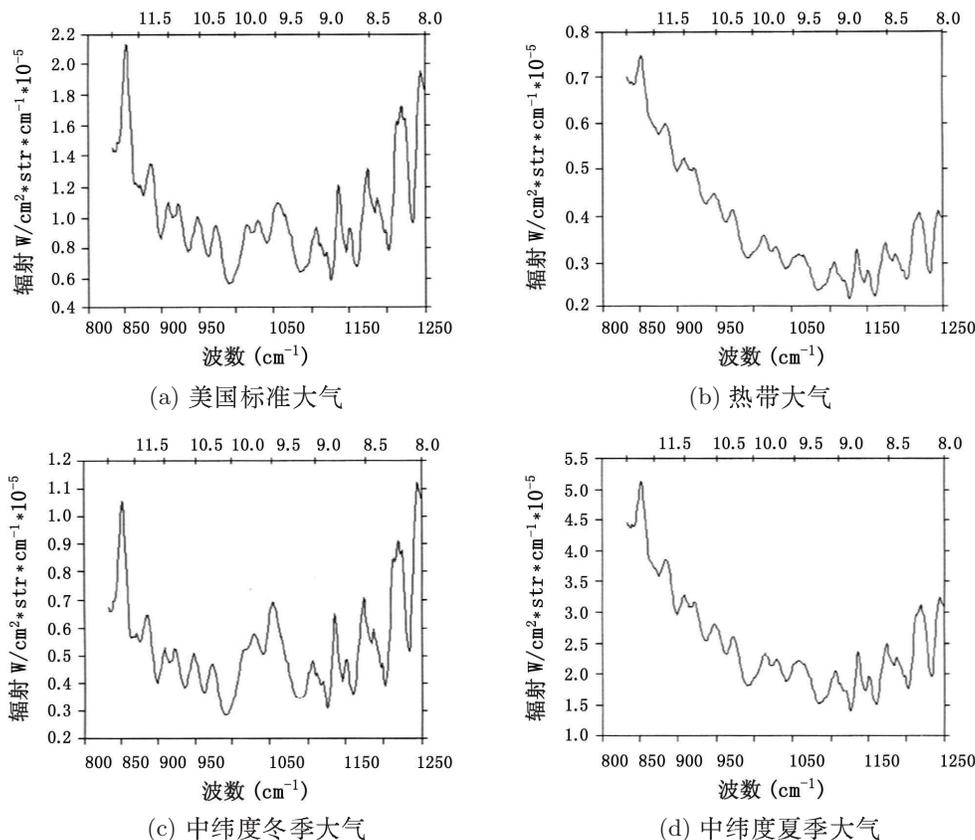


图 3 大气模式对热辐射的影响

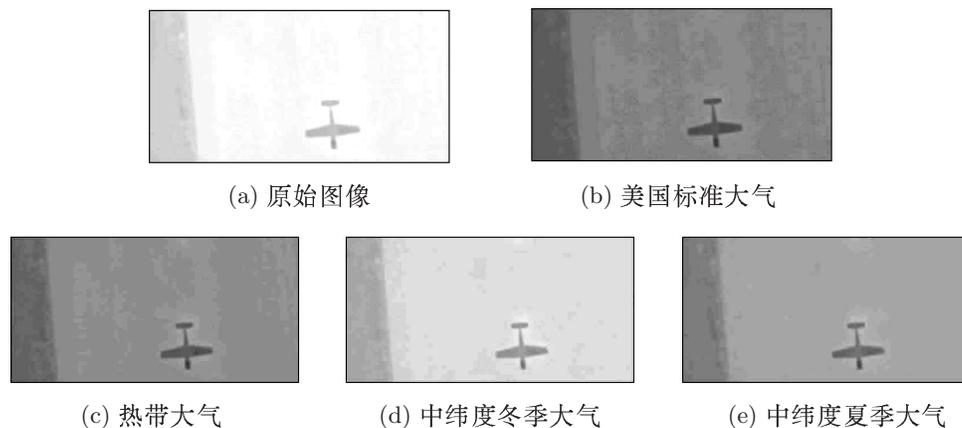


图 4 仿真结果

平台上的热像仪所得到的红外图像为基础,只进行大气修正,不考虑其他因素,仿真热像仪在任意高度下拍摄的红外图像。仿真效果理想,为下一步工作打下了基础。

参考文献

- [1] 李万彪, 朱元竞, 赵柏林. 气象卫星遥感西北太平洋海温的研究 [J]. 气象科学, 1977, 55(1): 43-53.
- [2] 张千, 曹治国, 张天序. 动态红外图像的建模与仿真技术 [J]. 红外与激光工程, 2003, 32(3): 299-303.
- [3] 吴北婴, 李卫, 陈洪滨, 等. 大气辐射传输实用算法 [M]. 气象出版社, 1998, 9.
- [4] 陈良富, 庄家礼, 徐希甯. 热红外遥感中通道间信息相关性及其对陆面温度反演的影响 [J]. 科学通报, 1999, 44(19): 2122-2127.
- [5] 刘其涛. 机载红外图像转换生成卫星仿真图像的研究 [D]. 烟台大学硕士学位论文, 2005.