

理论推导

热像仪通常工作在 2-5 μm 或 8-13 μm 两个波段，我们项目所使用的 flir tau2 热像仪工作光谱带为 7.5-13.5 μm 。在该波段上可采用灰体模型加以近似。

热像仪接收到的有效辐射包括三部分：目标自身辐射、环境反射辐射和大气辐射。探测器在工作波段上积分入射的辐射能，并把它转化为一个与能量成正比的电信号。热像仪测温的通用基本公式为

$$V_s = K \{ \tau_\alpha [\varepsilon f(T_{obj}) + (1 - \alpha) f(T_{ref})] + (1 - \tau_\alpha) f(T_{atm}) \}$$

其中

V_s 电压信号 K 比例系数 τ_α 大气透射率 ε 物体表面发射率

α 物体表面吸收率 T_{obj} 物体表面温度 T_{ref} 反射环境温度

T_{atm} 大气温度

对于非金属表面，如满足灰体近似，则有 $\varepsilon = \alpha$

令 $V_s / K = f(T'_{obj})$ T'_{obj} 表示热像仪指示的物体辐射温度

则有

$$f(T'_{obj}) = \tau_\alpha [\varepsilon f(T_{obj}) + (1 - \varepsilon) f(T_{ref})] + (1 - \tau_\alpha) f(T_{atm})$$

由普朗克辐射定律

$$f(T) = \int_{\Delta\lambda} \kappa_\lambda u(\lambda, T) d\lambda = \int_{\Delta\lambda} \kappa_\lambda \frac{c_1}{\pi} \lambda^{-5} [\exp(\frac{c_2}{\lambda T}) - 1]^{-1} d\lambda$$

其中

κ_λ 为探测器光谱响应度，表示红外探测器把红外辐射能转变为电信号的能力。 c_1 和 c_2 分别为第一、第二辐射常数。

不同的红外探测器光谱响应度随波长 λ 的变化是不同的

对上式积分，得到

$$f(T) \approx CT^n$$

代入可得

$$T'^n_{obj} = \tau_\alpha [\varepsilon T^n_{obj} + (1 - \varepsilon) T^n_{ref}] + (1 - \tau_\alpha) T^n_{atm}$$

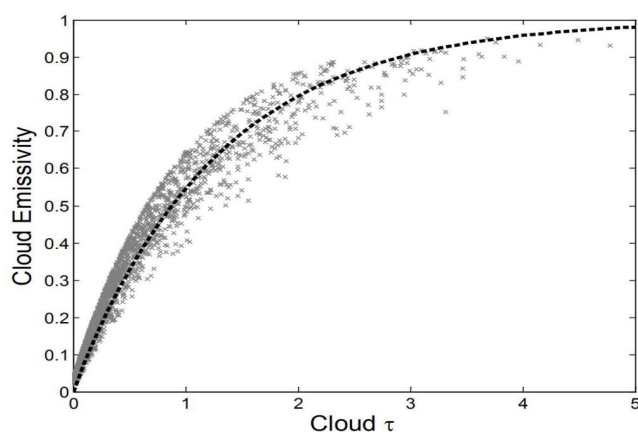
整理上式，可以求得物体表面发射率 ε

$$\varepsilon = \frac{T_{obj}^n - \tau_{\alpha} T_{ref}^n - (1 - \tau_{\alpha}) T_{atm}^n}{\tau_{\alpha} (T_{obj}^n - T_{ref}^n)}$$

对于云来说，存在云的发射率 ε 和云光学深度 τ 的经验公式：

云红外发射率(ε)和云可见光深度(τ)之间满足方程：

$$\varepsilon = 1 - e^{-0.79\tau}$$



那么有 $\tau = -\frac{\ln(1-\varepsilon)}{0.79}$

Optical depth of a material, denoted τ , is given by:^[2]

$$\tau = \ln\left(\frac{\Phi_e^i}{\Phi_e^t}\right) = -\ln T,$$

where

- Φ_e^i is the radiant flux received by that material;
- Φ_e^t is the radiant flux transmitted by that material;
- T is the transmittance of that material.

得到透射率 τ 为

$$T = \frac{1-\varepsilon}{0.79}$$

$$\varepsilon = \frac{T_{obj}^n - \tau_{\alpha} T_{ref}^n - (1 - \tau_{\alpha}) T_{atm}^n}{\tau_{\alpha} (T_{obj}^n - T_{ref}^n)}$$

$$T = \frac{1 - \varepsilon}{0.79}$$

对于 8-13 μm 波段，n 取 4。需要的物理量：大气透射率、物体温度、大气温度、环境温度。

大气透射率可参考文献红外成像实时仿真中大气透射率的计算与分析编写程序进行计算。另有现成大气透射率计算软件如 LOWTRAN7、MODTRAN4。