

基于遥感相机模型的遥感图像彩色校正

王雪晶¹⁾ 张健²⁾ 魏仲慧³⁾ 郝志航³⁾

(¹⁾北京化工大学信息学院,北京,100029;²⁾长春光学精密机械学院,吉林,长春,130022;

³⁾长春光学精密机械与物理研究所,吉林,长春,130022;)

摘要 分析了光源、大气层、遥感相机敏感度对真彩色遥感图像颜色的影响,提出了基于遥感相机模型的彩色校正,通过彩色校正补偿光源、大气层、相机敏感度引入的误差,将不同条件下的彩色图像转换成标准光源下的图像,对于遥感图像分析等有一定意义.仿真实验结果表明,本文的彩色校正方法基本上可以满足实际需要.

关键词 相机响应模型,光谱敏感度,彩色校正.

COLOR CORRECTION FOR REMOTE SENSING IMAGES BASED ON REMOTE SENSING CAMERA MODEL

WANG Xue-Jing¹⁾ ZHANG Jian²⁾ WEI Zhong-Hui³⁾ HAO Zhi-Hang³⁾

(¹⁾Beijing University of Chemical Technology Beijing 100029, China;

²⁾Changchun Institute of Optic and Fine Mechanics, Changchun, Jilin 130022, China;

³⁾Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130022, China;)

Abstract The impact of daylight, aerosphere and remote sensing camera sensitivity on the color of remote sensing image was analyzed. Color correction based on remote sensing camera model was presented. Which compensates the errors introduced by daylight, aerosphere and remote sensing camera sensitivity. It can convert color image under different conditions into image under standard lighting, and it is of interest to remote image analysis. Simulated experiment show that this color correction method basically satisfied is the requirements.

Key words camera response model, spectral sensitivity, color correction.

引言

真彩色遥感图像由红、绿、蓝波段合成,且被摄物体的颜色尽可能如实地显示出来.真彩色遥感图像比灰度图像提供更多信息,因光源、大气层、遥感相机本身因素的制约,得到的彩色遥感图像并未像期望的再现真实地物的颜色,存在着一定程度的色偏,严重地影响了数据表达信息的可靠性和有效性.传统的遥感图像处理是对各个波段在实验室和飞行中进行辐射校正,该种辐射校正增加了遥感相机的复杂性,另外,辐射校正对于中性色校正精度很好,但对于彩色误差要大一些.本文在借鉴传统的彩色校正思想,提出适用于遥感相机的彩色校正方法.

1 产生色偏的原因分析

利用 CCD 遥感相机探测地面目标时,地面景物

分布特征信息量穿越大气层,被光学系统聚焦在 CCD 图像传感器上,则获得图像的颜色与日光的光谱特性、大气的透射、反射、发射、吸收和散射特性、地物的反射特性、CCD 遥感相机的光谱敏感度特性有关.由于我们研究真彩色遥感图像,所以只对可见光波段感兴趣,对于可见光来说,绝大部分地物都显得十分粗糙,故产生漫反射,光向各个方向的反射率相同,因而假设地面为朗伯面,忽略地物反射特性对图像颜色的影响.

1.1 日光光谱的影响

日光光谱由两部分组成:太阳直射光谱和散射天空光.太阳辐射是遥感技术中主要的辐射源,由于地球表面是曲面,在不同季节和不同纬度地区太阳的入射角是不同的,将直接影响太阳光照度的整体强度和光谱特性.另外,散射天空光是大气层散射、辐射造成的,其照度占到达地表面总照度的 5 ~

10% ,随着日光光谱分布的变化,对同一目标,遥感相机捕获的颜色是不同的.

1.2 大气层的影响

太阳辐射能到达地表需经过电离层、臭氧层及对流层所组成的大气层.由于大气对电磁波的选择性吸收,大气在不同波段对电磁波的衰减程度各不相同.换言之,大气对不同波段的电磁波有不同的透射率,即电磁波在一些波段能顺利透过去,而在另一些波段则透过困难,甚至完全不能透过.因此,地表所得到的太阳辐射能要比太阳能常数少得多,可见由飞机、卫星上的传感器接收到地物辐射回来的电磁波是非常微弱的,而大气层对太阳辐射的反射、散射成为遥感中不可忽视的干扰因素,它模糊了遥感图像上地物的影响轮廓,干扰了地物影像的真实色调.

另外,太阳辐射经大气分子或气溶胶粒子散射后,直接到达遥感器的辐射亮度称为大气程辐射,它的存在增加了背景辐射亮度,降低了遥感图像的对比度.

1.3 遥感相机的光谱特性

CCD 遥感相机作为图像输入设备,要使获取的图像起初地再现地物的色彩,那么遥感相机整个系统的理想光谱敏感度曲线应与 CIE 标准观察者的光谱三刺激值曲线相似^[1]. 遥感相机的光谱特性由遥感相机的镜头透射率、红外滤光片的光谱透射率以及 CCD 图像传感器的光谱敏感度特性综合组成的.理想相机的光谱敏感度曲线^[1]如图 1 所示,它的实现是很困难的,因为理想的 r、g、b 三条曲线都存在负值部分,而 CCD 遥感相机系统中的镜头、红外滤光片、CCD 图像传感器的光谱敏感度这些元器件

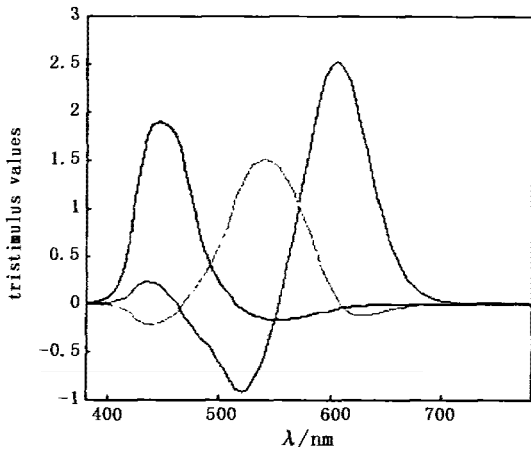


图 1 相机的理想光谱敏感度曲线
Fig. 1 The ideal spectral sensitive curve of camera

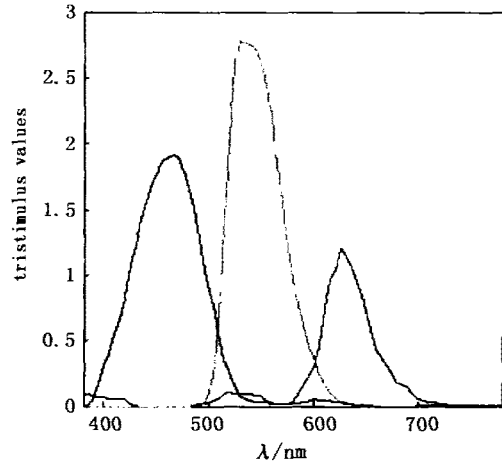


图 2 CCD 遥感相机实际的光谱敏感度曲线
Fig. 2 The actual spectral sensitive curve of CCD remote sensing camera

的光谱特性曲线不可能出现负值.由于镜头在可见光波段的透射率是几乎相同,所以不影响 CCD 遥感相机光谱敏感度的相对分布,因此以 Kodak 公司的 KLI-10203 线性 CCD 传感器和 SCHOTT 公司的 BG39 红外滤光片计算遥感相机的实际光谱敏感度曲线,从图(2)中可以看出实际的光谱敏感度曲线与理想的情况比区别很大,所以对采集的彩色图像出现一定程度的失真.

2 遥感相机模型

建立遥感相机模型的主要目的是根据日光光谱功率分布、大气层透射率、大气程辐射光谱分布、地物反射光谱等预计图像像素的输出值,估计相机在特定光源下不同表面的输出对于我们实现彩色校正具有重要意义.建立遥感相机模型前,先看一下一般标准的相机响应模型为^[2]

$$V_i(m, n) \approx F(k \sum_{\lambda=400}^{700} I(m, n, \lambda) D_i(m, n, \lambda) + noise), \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

当 $F(\cdot)$ 是单位函数表明相机响应模型为线性, $F(\cdot)$ 是单调递增非线性函数则表示相机响应模型是非线性.其中 $I(m, n, \lambda)$ 为入射光的光谱功率分布, $D_i(m, n, \lambda)$, $i = 1, 2, 3$ 分别为相机的红、绿、蓝光谱敏感度, $noise$ 是噪声, k 是与曝光时间有关的常数.

我们所研制的遥感相机,经过 A/D 变换后的数据未经过任何处理,可以假设整个系统是线性的,即 $F(\cdot)$ 为单位函数.在遥感过程中太阳直射光经大

气层与天空的散射光组成的日光共同照射在地物体,由地物体反射回大气层,最后到达遥感相机.为计算方便,我们假设日光光谱分布、大气透过率、大气层辐射光谱功率分布、CCD 像元敏感度等参数在空间上是均匀分布的.若照射在地面的日光辐照度为 $E(\lambda)$,大气层在遥感相机方向的透射率为 $T(\lambda, \theta, \varphi, h)$, (θ, φ) 为仪器的俯角、方位角, h 为遥感相机的高度,大气路程的层辐射度为 $P(\lambda)$,则遥感相机模型可改写为

$$V_i \approx k \sum_{\lambda=400}^{700} (E(\lambda)T(\lambda, \theta, \varphi, h)R(\lambda) + P(\lambda))D_i(\lambda) + noise, i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

根据相机结构,CCD 遥感相机的光谱敏感度又可分成三部分构成,分别为光学镜头的透过滤 O 、滤光片的透过滤 τ 和 CCD 的敏感度 d .若考虑到镜头在可见光波段几乎不影响 CCD 遥感相机光谱敏感度的相对分布,则遥感相机的光谱敏感度以红色通道为例表示为

$$D_r = \tau_r \cdot d_r. \quad (3)$$

3 彩色校正过程

受多种因素的影响,从遥感器所获得的图像的颜色与目标物的光谱反射率或光谱辐射量度等物理量是不一致的,为了正确评价目标物的反射及辐射特征,必须消除这些失真,消除图像数据中依附在辐射量度中的各种失真过程.通过彩色校正补偿由光源、大气、遥感相机引入的彩色失真,使被摄物体的颜色在符合标准光源及人眼的视觉特性条件下,尽可能如实地显示出来.通常彩色校正利用一系列的色卡作为测试对象,对一定光源和相机进行测试,当光源或相机改变就要重新测试.若已知色卡的反射光谱分布、日光参数和大气参数,利用前述的遥感相机模型可计算出该色卡的遥感相机输出值.因此,基于遥感相机模型的彩色校正过程可分为以下几步:

第一步,大量色卡的反射光谱分布集合保存在计算机中,根据这些色卡的光谱反射率来计算在标准光源 D_{65} 和理想光谱敏感度条件下的三刺激值,则得到一系列的 $\{(R'_i, G'_i, B'_i) | i = 1 \dots N\}$ 表示第 i 个彩色真值.

第二步,利用 CCD 遥感相机的响应模型计算某一条件下选定色卡的光谱反射率的遥感值,给定相应条件参数如:日光光谱数据、大气层透射率、大气层辐射光谱分布,即可得到一系列的 $\{(R_i, G_i, B_i) | i = 1 \dots N\}$ 表示第 i 个彩色记录值.

第三步,若使 CCD 摄像机或扫描仪的输出色度值再现原图像的颜色,需要 3 个变换函数将记录图像的 3 个彩色分量映射到彩色图表的 3 个彩色分量上,于是用多元线性回归分析求出多项式的系数.当利用线性模型描述遥感相机特性时,可用如下二阶校正模型

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \quad (5)$$

当然也可用二阶多项式回归,二阶多项式校正模型^[3]如下

$$R' = a_{10}R + a_{11}G + a_{12}B + a_{13}R^2 + a_{14}G^2 + a_{15}B^2 + a_{16}RG + a_{17}RB + a_{18}GB + a_{19}, \quad (6)$$

G' , B' 可以同样表示,写成矩阵形式如下

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} & a_{11} & \dots & a_{19} \\ a_{20} & a_{21} & \dots & a_{29} \\ a_{30} & a_{31} & \dots & a_{39} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

多项式的次数和项数的选择依赖于相机特性和精度、处理速度的要求.

第四步,用第三步所求矩阵来校正捕获的遥感图像.

第五步,当光源光谱、大气参数等条件发生变化时,就要重新求取彩色校正矩阵,重复第二步到第五步.

4 仿真实验及结果

地表的起伏以及地理位置的不同,地面上的太阳辐照度发生变化并影响其遥感数值^[4],在这里不考虑地形变化对遥感数值的影响,所以假设地形平

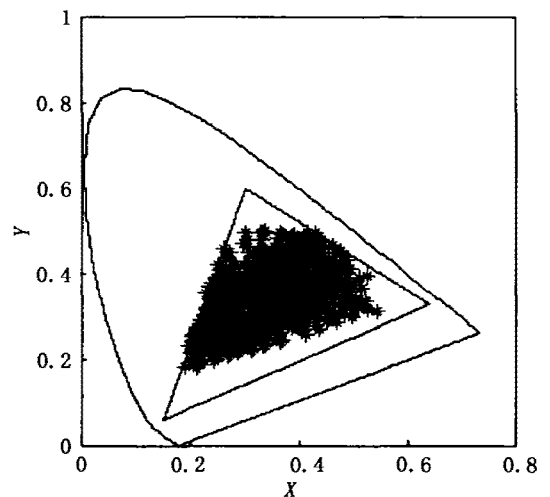


图3 光谱集合一

Fig.3 The first spectral sets

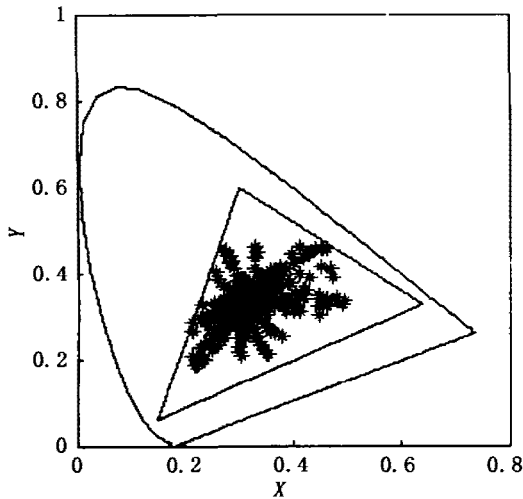


图4 光谱集合二
Fig. 4 The second spectral sets

坦. 在给定日光参数和大气参数情况下, 我们可以计算彩色校正矩阵, 实时地进行彩色校正. 当日光参数、大气参数改变或由于元器件老化引起遥感相机灵敏度变化, 则重新计算彩色校正矩阵. 在本次仿真实验中, 选取了太阳天顶角 60° 和中纬度夏季、乡村气溶胶、能见度 23km 的大气条件, 实验中选取了两组光谱集合作为计算校正模型参数的光谱, 一组是以孟塞尔色卡为基础在 ITU-RBT. 709 色度空间内的光谱集合简称为光谱集合一, 由 1231 个光谱构成; 另一组是以 ITU872 色卡为基础在 ITU-RBT. 709 色度空间内的光谱集合简称为光谱集合二, 由 283 个光谱构成, 分别如图 3 和图 4 所示. 另外, 在自然界的反射光谱中, 随机选取 115 个光谱, 用来验证彩色校正的结果. 分别利用光谱集合一、二进行彩色校正, 得到的校正结果在表 1 和表 2 给出.

从表 1 和表 2 可以看出, 对于线性相机模型用二阶多项式回归结果比一阶多项式回归校正结果没有提高, 从平均误差看反而不如一阶多项式回归. 利用两个光谱集合的校正结果相差不多, 因此, 从计算量的角度来讲, 基于遥感相机模型的彩色校正可选用光谱集合二作为参考标准, 利用一阶多项式回归进行彩色校正.

传统的遥感图像是对各个波段进行辐射校正, 这里, 为了比较彩色校正与辐射校正的差别, 分别对彩色图像的红、绿、蓝三个波段进行辐射校正, 然后再计算色差.

辐射校正的结果使色差却明显降低, 由于辐射

校正没有强调彩色的精度, 使得中性颜色校正结果很好, 而彩色结果不是很理想. 彩色校正同时考虑了中性色和彩色, 所以它的平均色差很小.

5 结论

实验结果表明基于遥感相机模型的彩色校正方法基本上可以满足需要, 其优点是灵活性好, 可以随条件变化改变彩色校正矩阵; 而且遥感相机结构相对简单, 用软件就可以完成彩色校正.

表 1 利用光谱集合一的彩色校正结果
Table 1 The color correction results using the first spectral sets

评价标准 ΔE_{Lab}	校正前	一阶校正	二阶校正
平均误差	45.7319	2.7519	4.2045
最大误差	78.0790	13.2133	14.9116
最小误差	26.1205	0.1448	0.2515

表 2 利用光谱集合二的彩色校正结果
Table 2 The color correction results using the second spectral sets

评价标准 ΔE_{Lab}	校正前	一阶校正	二阶校正
平均误差	45.7319	2.5867	3.2231
最大误差	78.0790	15.7336	11.1704
最小误差	26.1205	0.2760	0.3864

表 3 辐射校正结果
Table 3 Radiation correction results

评价标准 ΔE_{Lab}	校正前	一阶校正	二阶校正
平均误差	45.7319	5.1489	4.9309
最大误差	78.0790	20.5406	19.9158
最小误差	26.1205	0.5602	0.4877

REFERENCES

- [1] JING Qi-Cheng, JIAO Shu-Lan, YU Bo-Lin, *et al.* Chromaticity. Beijing: Science Press (荆其诚, 焦书兰, 喻柏林等. 色度学, 北京: 科学出版社), 1979, 287 — 292
- [2] Vora Poovi L, Joyce E, Farrell, *et al.* Image Capture: Simulation of sensor response from hyperspectral images. *IEEE Trans. On Image Processing*, 2001, 10(2): 307 — 314
- [3] Henry R Kang. Color scanner calibration. *Journal of Imaging Science and Technology*, March/April, 1992, 36(2): 162 — 170
- [4] LI Xian-Hua, LAN Li-Bo, Yu Ge-Hong. Satellite remote sensing image ground radiation correction research. *remote sensing Technology and Application* (李先华, 兰利波, 喻歌农, 等. 卫星遥感数字图像的地面辐射改正研究. 遥感技术与应用), 1995, 10(1): 1 — 8