

航空热红外图象的假彩色增强

陈祯培 钟永碧 周 焜 郭履容
(四川大学物理系)

提 要

本文叙述了航空热红外图象的假彩色增强方法。借助于半色调屏预处理与空间滤波技术,把一张连续色调的热红外图象编码成假彩色图象。将我们所得的结果与电子计算机得到的结果进行了比较和讨论。

一、引 言

为了有效地提取遥感图片的有用信息,通常需要进行适当的电子技术或光学技术处理。对于某一特定波段的遥感图片(例如航空热红外图片)不能采用常规的多色合成技术,而是采用电子-光学方法的假彩色等密度分割技术^[1,2]。我们用近年来发展起来的光学信息处理方法,对热红外图片进行非线性变换半色调屏预处理,再经空间滤波以实现假彩色编码^[3,4],从而达到图片假彩色增强的目的。此种光学信息处理与电子计算机处理相比,具有容量大,速度快,分辨率高,能二维并行处理等优点。本文给出了太原市热电厂冷却池中水温场分布的热红外航空遥感图片的光学信息处理假彩色增强结果,并与电子计算机处理结果进行了比较。可以看出,用光学方法处理图片具有很多优越之处。

二、热红外图片的假彩色编码

光学图片的半色调屏假彩色编码原理及数学分析,在文献[3,4]中已有比较详细的叙述。为了便于应用,我们在此只着重简述其假彩色编码的两个处理过程。

首先使用半色调屏对热红外遥感黑白透明图片进行非线性半色调屏预处理,也就是将热红外图片中的黑白连续色调信息转变为相应的黑白宽窄面积调制信息,即得到半色调图片。半色调屏预处理是将半色调屏,原始热红外透明黑白图片,高反差照相底片紧密贴在一起,如图1所示。若 $D_p(x)$, $D_s(x)$ 分别为原始透明图片及半色调屏的密度函数随坐标 x 的

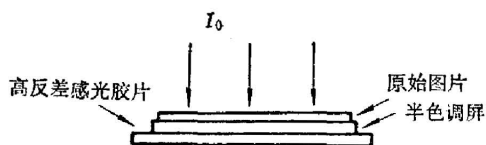


图1 图片的半色调预处理。

Fig. 1 Half-tone pre-processing of the photograph

分布,当均匀平行光束 I_0 照明原始图片后,其光强度为 $I_{in} = I_0 \cdot 10^{-D_s(x)}$,并将此作为对半色调屏的输入光强度。当 I_{in} 光束穿过半色调屏后,再投射到高反差胶片上,其光强度为 $I_t = I_{in} \cdot 10^{-D_s(x)} = I_0 \cdot 10^{-[D_p(x)+D_s(x)]}$ 。对于理想的硬截止高反差感光胶片,若其阈值曝光强度为 I_c ,当入射到底片上的光强度为: $I_t \geq I_c$ 时,胶片感光,处理后成全黑,当: $I_t < I_c$ 时,胶片不感光,处理后完全透明。于是我们便得到胶片的阈值曝光条件为: $I_t \geq I_c$ 。图 2(a), 2(b) 分别给出密度函数随 x 的分布。图 2(c) 给出了 $D_p(x)$, $D_s(x)$ 重叠在一起时的密度函数分

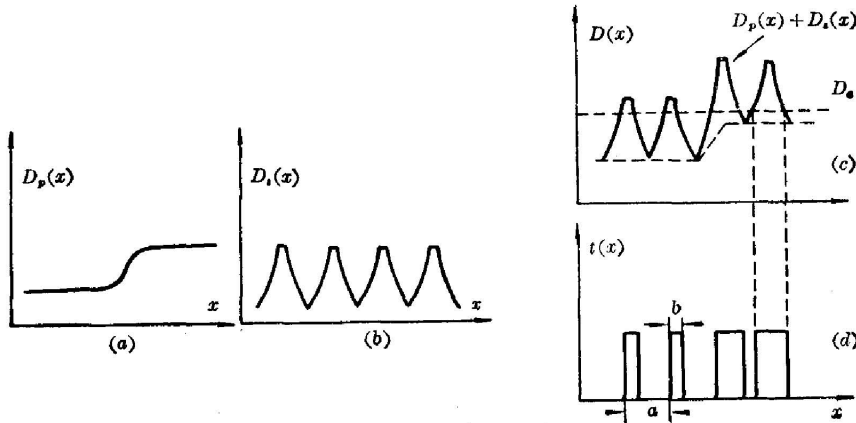


图 2 半色调屏预处理过程图解

Fig. 2 Diagram of the half-tone screen preprocessing

布,其中与 x 轴平行的虚线 D_c 表示同阈值曝光强度 I_c 相对应的感光胶片的阈值密度。图 2(d) 给出在硬截止曝光条件下,所得到的图片局部透过率随 x 的分布,出现在了透明背景上的透明线条,其宽度为 b ,周期为 a 。从图中不难看出, b 的大小与原始图片的密度函数、阈值曝光强度等因素有关。这样,便将热红外图片的模拟信息,经过非线性处理,转变为二进

制信息。

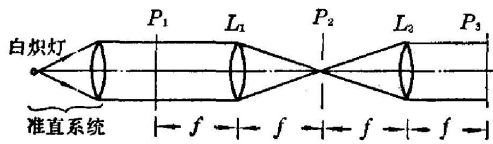


图 3 假彩色编码光信息处理系统

Fig. 3 Optical information processing systems of pseudo-color coding

第二步是将所得之半色调图片,放入图 3 所示的光信息处理系统的输入平面 P_1 位置,再进行傅里叶变换及滤波处理。来自白炽光源的光束经准直系统后,平行地均匀照明到输入图片上,经过傅里叶变换透镜 L_1 进行傅里叶变换,在 P_2 平面上得到输入图片相应的频谱。我们在此平面上使用适当宽度的狭缝进行空间滤波,选择几个非零级衍射级次通过 L_2 透镜进行第二次傅里叶变换,便可在 P_3 平面上得到与原始图片密度相对应的假彩色分布图片,从而实现了整个假彩色编码过程。

三、实验及结果

我们所处理的热红外图片^[5]是用国产 J-41 型热红外扫描相机摄取的。图 4(a) 中箭头指示出太原市热电厂冷却水池的位置,似叶片状。(b) 为相应的放大照片。照片中的灰度变化反映了冷却水排入水池后的温度分布。在地面温度差不大时,可以认为热红外图片中的

灰度变化与地面(这里指水面)温度变化成线性关系。这样,就可以进行图片的光密度值的线性分割,进行假彩色信息增强处理。

使用对称型半色调屏,其密度变化范围为 0.2~1.75,与图 4(a)的透明图片,高反差感光胶片(其反差值 $\gamma > 8$)三者重迭在一起,进行硬截止曝光,然后将该感光胶片进行高反差



图 4 太原热电厂冷却水池的热红外照片

(a) 全景照片(箭头指示冷却水池的位置);

(b) 冷却水池的放大照片

Fig. 4 Thermal infrared photo of the cooling pool of Taiyuan Heat and Power Plant

(a) Panoramic photo (Arrow shows the position of the pool);

(b) Amplified photo

显影、定影,水洗处理。将所得之半色调图片放入图 3 所示的光信息处理系统中的输入平面上,进行傅里叶变换、空间滤波等处理。 L_1 , L_2 的焦距相等,其相对孔径为 1:5.6。频谱平面上,滤波狭缝宽度为 0.8 mm,让衍射出的第二级次及第三级次的部分光束通过。适当地选择狭缝的位置,可获得上述两个级次同时滤出的具有最佳彩色饱和度匹配的彩色图象输出。在输出平面 P_3 上的彩色图象,使用国产保定感光胶片厂出品的彩色感光胶片进行记录。

为了得到较强的傅里叶衍射频谱,我们还将上述的半色调图片进行漂白处理。这样得到的位相型半色调透明图片,在上述实验条件不变的情况下,通过同样的光学信息处理系统,可以得到更高光强度输出的假彩色输出图象。图 5(见插页彩图)就是我们最后所得到的冷却水池温度场热红外图片的假彩色正片,所用的半色调屏的频率为 20 lp/mm。

由图 5(见 152 页后彩色插页)给出的冷却水池中水温分布的最大温度差为 7°C ,这是由摄取该热红外图片时,同时在水面点测得到的结果。图中的不同颜色明显反映了水池温度分布状况,相同色调对应于相同的温度值分布。图中有 10 个以上的彩色色调,细致直观地反映了不同的水温区。比较明显的区域范围轮廓线就是等温区界线。在我们对图片进行假彩色编码的同时,由于选取了较高阶的衍射级次,因而获得了边缘增强的效果。实验表明,上述光学信息处理技术,可以同时进行假彩色增强和边缘增强两种处理。

图 6 是由同一热红外图片经电子计算机处理所得到的等密度分割与提取的结果。按温度每变化 1°C 进行分割,线性分割成相对应的七个光密度等级,每个密度等级代表温度变

化 1°C 。图中用数字表示各等温度区分布情形,最高温度区 30°C 用字母1表示,最低温度区 24°C 用字母7表示。图片输入的光电扫描转换系统的扫描频率为 20 lp/mm 。



图6 用图4(b)透明图片经计算机处理的等密度分割图(七个分布区)。

Fig. 6 Iso-density of transparent photograph processed by computer (in Fig. 4(b))

比较图5与图6可看出,用本文所述的方法得到的结果与电子计算机方法所得结果同样有效。图6中的 24°C 水温区(图中字母7所示)与图5中淡黄色、棕色分布区相对应,显示出温度场的温度分布向边缘逐渐下降。图6中的 25°C 等温区分布与图5中的绿色、金黄色相对应,且分布规律十分一致。两种颜色区分别表示温度值约为 24.5°C 、 25.0°C 的分布区,这两个区分布的渐变过程也展示得十分清楚。我们所得到的假彩色编码图片能够用不只一种颜色来区别开温度变化小于 1°C 的等温分布区。

图5与图6中的 27°C 、 28°C 等温度区基本上能相互对应。由于原图片所对应的 $29^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 温度范围的区域有较大的密度值,已接近感光胶片乳剂特性曲线的非线性饱和部分。虽也有温度变化 1°C ,但所对应的密度变化微小,不易区别开,故呈现有较大面积区域(见字母1所示)。而这部分区域在图5中仍能显示出一些颜色差异,这是由于上述光学假彩色编码图片能以颜色差别显示小于 1°C 温度变化区域的缘故。

四、讨 论

从上节所述的实验方法与结果中,我们有下列几点看法。

(1) 使用感光胶片的半色调屏非线性处理技术及傅里叶变换、空间滤波处理,可将具有黑白连续色调信息的热红外图片按黑白灰度变化有效地编码为对应的假彩色增强图片。由于人眼对黑白图片只能识别十余个灰度等级,而当上述同一图片编码成假彩色图片后,则人们识别彩色色调差别的能力可达到上百个等级。所以进行图片的光学假彩色编码是一项十分有意义的工作。

如果选用特殊制作的半色调屏来处理图片,我们还可以得到图片中特定密度范围的分割与提取。

(2) 由于在光学信息处理系统的傅里叶频谱平面上,半色调图片的衍射频谱的级次选择与空间滤波等处理,操作十分方便,具有相当的灵活性。利用作为空间滤波运算的狭缝的方位,宽窄及其适当的位置以及衍射级次数目的选择,我们可以实现不同假彩色组合,突出指定的灰度级信息,将图片上某一特定灰度部分用彩色明显地显示出来。

当选择较高的衍射级次滤波后,便可以使图片中某一等级密度轮廓范围得到清晰的边缘增强的界线。例如,在图4(b)中的等密度分布区,很难看出其边缘界线,而当图片处理后,从图5中就很容易观察出来。很明显,这对于我们按等密度进行区域分类、面积统计等

工作,将会提供直观的结果。

光学处理操作较简易,灵活方便,且能进行多功能结合处理等,而电子计算机做同类工作则要复杂一些。

(3) 使用上述的光学处理技术,在分辨率方面可以比较容易作到比电子计算机处理要高一些。在电子计算机处理中,图象输入的光电扫描转换系统,需要扫描光点的直径很小、光斑均匀、机械稳定性好的光电扫描装置,或高分辨率的摄像光靶系统。这些装置系统,其扫描频率要作到 20 lp/mm,一般比较困难。而我们采用的半色调屏光学处理图片技术,其半色调屏的频率做到上面的数值,其困难并不那么大。

(4) 上述光信息处理装置设备较简单,能二维并列进行大容量的图片信息处理。不象电子计算机处理系统,要进行大容量信息处理时,则要昂贵的电子计算机设备。作者曾在上述光学系统的输出平面上采用彩色闭路电视系统进行记录、显示、贮存与提取信息,使用极为方便。我们认为,若能将上述光学处理方法,进一步发展成为光电混合处理系统,既可以发挥光学处理的长处,又可以克服它不能精确地数字定量化的不足,这将会收到更大的效果。

作者对曾参加我们完成图片彩色印像处理工作的黄超英,胡敏同志表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Robert N. Colwell, Edwin F. Katibah; *Proc. SPIE*, 1976, **74**, «Image Processing», 111.
- [2] 北京大学地理系地貌专业遥感研究组编;《地球资源卫星像片的地质解译》, (地质出版社), 1978.
- [3] Hua-Kuang Liu, J. W. Goodman; *Proc. SPIE*, 1976, **83**, 125.
- [4] S. R. Dashiell, A. A. Sawchuk; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 4 (Apr), 1009.

Pseudo-color enhancement processing of aerial infrared thermography

CHEN ZHENPEI ZHONG YONGBI ZHOU KON AND GO LURONG

(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu)

(Received 30 December 1981)

Abstract

This article describes a method of pseudo-color enhancement of aerial infrared thermography. A continuous grey tone thermographic picture has been encoded into a pseudo-color image by means of the technique of half-tone screens preprocessing and spatial filtering. Our results have been compared with the results obtained by digital method, and the discussion of the comparison is given.