基于灰度分层的 FPGA 红外图像伪彩色实时化研究

路建方，王新赛，肖志洋，贺 明，靳世红，张成斌
（防空兵学院红外与成像制导技术实验室，河南 郑州 450052）

摘要：介绍了一种基于 FPGA 的红外图像的伪彩色化实现方法。这种方法首先通过 Matlab 提取颜色表，然后通过 FPGA 控制颜色表的在线更新实现红外图像不同种类的伪彩色化效果。该方法大大提高了人们对红外图像感兴趣目标点的辨识能力。该方法已经在自主研发的红外观测系统中得到验证，具有硬件实现简单、占用逻辑资源少、速度快、实时性强等特点。

关键词：红外图像；灰度分层；伪彩色；FPGA
中图分类号：TN911.73 **文献标识码**：A **文章编号**：1001-8891(2013)05-0285-04

The Research on Real-time Pseudo-color of Infrared Image in FPGA Based on Gray Delaminating

LU Jian-fang，WANG Xin-sai，XIAO Zhi-yang，HE Ming，JIN Shi-hong，ZHANG Cheng-bin
（*Lab for Infrared and Imaging Navigation Technologies Air Defense Forces Academy, Zhengzhou* 450052, *China*）

Abstract：An implementation of pseudo-color of infrared image based on FPGA is introduced. This implementation firstly gets color table on Matlab，then updates the color table on-line in the control of FPGA to get different effects. It can largely enhance the ability of recognition of targets in region of interest. It has been proved in the infrared observation system developed ourselves and this method has advantages of simple hardware, less logical resource occupied, high speed and real-time operation.

Key words：infrared image，gray delaminating，pseudo-color，FPGA

0 引言

人眼对灰度的分辨率是几十个，而对色彩的分辨率可达几百个，经过专业训练的人员甚至可以分辨几千种不同的颜色。由于红外图像本身具有对比度低、边缘模糊、视觉效果差，因此，黑白显示的红外图像只能满足一般的图像分析要求，而对于航空、航天、医学诊断等要求较高的领域则需要对红外图像的伪彩色化显示。

伪彩色化处理的基本方法一般有 3 种：灰度分层法、灰度级—彩色变换法、频域变换法[1-2]，实际上，大多数新的处理方法都是以这 3 类方法为基础演变而来的。基于 FPGA 硬件逻辑实现的复杂度和红外图像伪彩色化效果的平衡考虑，本系统采用灰度分层法，灰度分层后通过颜色表的查找实现红外图像的伪彩色化处理，红外图像基于 FPGA 灰度分层法伪彩色化处理的原理可以通过图 1 表示。

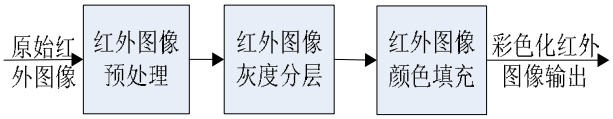

图 1 红外图像的伪彩色化处理过程

Fig.1 Procedure of pseudo-color of infrared image

1 红外图像伪彩色化处理的基本原理

1.1 红外图像的特点

红外图像反映了目标和背景红外辐射的空间分布，其辐射亮度分布主要由被观测景物的温度和发射率决定，因此红外图像近似反映了景物的温度差或辐射差[3]。但是，目标和背景的红外辐射需经过大气传输、光学成像系统、光电转换和电子处理等过程，才能被转换成为红外图像。因此红外图像具有如下特点[4]：红外图像是表征景物的温度分布的灰度图像，没有立体感，没有彩色和阴影，对人眼而言，分辨率低；红外图像的空间相关性强、对比度低、视觉效果模糊；红外图像的清晰度低于可见光图像，噪声大，非均匀性强。

收稿日期：2013-1-21 ；**修订日期**：2013-2-20.
作者简介：路建方（1982-），男，河南郑州人，硕士学位，主要研究方向是红外图像处理及应用。E-mail:xiaoluzhl@gmail.com。

1.2 伪彩色处理的基本原理

图像的伪彩色化处理作为一种重要的处理技术，从上世纪 80 年代起，就有很多研究人员为此付出巨大的努力。迄今为止，文献报道的处理方法有很多种，但是基本原理不变，都是灰度空间到彩色空间的一种映射关系。

在一幅红外图像上 $f(x,y)$为其对应点(x,y)上的亮度强度，即灰度值。现设 $f(x,y)$从 0 到 L 表示从黑到白的不同灰度值。假如作一种变换，将灰度轴上一点映射到彩色空间（红、绿、蓝）中的一个对应点，就可把红外黑白图像变换成伪彩色图像。这种变换函数可以有多种不同的形式，对应伪彩色化显示中的不同方法[5]。

在灰度级 L_0，L_1，…，L_i，…，L_M 处定义 $M+1$ 个与灰度轴垂直的平面，并取 $L_0=0$，$L_M=L$，$0<L_i<L$（$i=1,2,\cdots,M-1$），在 $M+1$ 个平面内将灰度划为 M 个区域 R_K（$K=1,2,\cdots,M$）。其原理如图 2 所示。

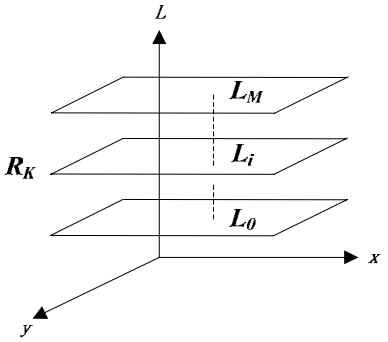

图 2 灰度分层法伪彩色处理原理

Fig.2 Theory of gray delaminating pseudo-color

用下列公式来进行伪彩色映射：

$$g(x,y)=I[f(x,y)],\ I=(f)=C_K,\ f(x,y)\in R_K \tag{1}$$

式中：$f(x,y)$，$g(x,y)$分别为变换前后的图像；I 的变换算子与位置(x,y)无关，C_K 是指定与区域有关的彩色。用(1)式就可以实现红外图像的灰度分层伪彩色化处理。

2 基于 FPGA 的红外图像灰度分层

图像的灰度分层，可以分为灰度均匀分层和非均匀的分层，灰度均匀分层就把图像灰度平均的分为 n 个灰度层，$n\leqslant L$，其中 L 为图像的灰度级数，每相邻两个灰度级之间的差相等；非均匀分层，是分层后相邻两个灰度级之差有不相等的情况存在。图像的不均匀分层一般用于突出图像中的某一个区域或是抑制某一个区域[6-7]。本系统中红外图像经过了预处理，噪声得到了抑制，目标突出，可以采用灰度均匀分层法实现红外图像的分层。

红外图像分层太多，颜色填充时需要的颜色表太大，占用系统资源多；分层太少了，伪彩色处理后红外图像的细节得到了抑制，综合考虑，把 10 位的红外图像分为 128 层灰度级。在 FPGA 中可以通过红外图像的直方图统计和灰度合并重排列实现灰度分层，本系统通过在 FPGA 中，根据像素时钟实时的把灰度值直接右移四位实现灰度分层，仿真后效果比较好，可以满足系统的要求。

3 伪彩色图像颜色表的设计

伪彩色图像的颜色表可以通过Matlab或是C++程序制作，本文通过Matlab制作颜色表。在彩色图像处理中，Matlab中预定义的有十几种颜色映射表，如：函数autumn(x)表示索引图像的颜色从红色到橙色、再到黄色平缓变化，函数hot(x)表示索引图像的颜色从黑色开始、通过红、橙、黄到白平缓变化，函数jet(x)表示索引图像的颜色从蓝到红、并经过青、黄和橙色等，x表示颜色的级数，默认值为64。红外图像的颜色表可以使用Matlab中预定义的颜色映射表，也可以根据需要自己定义颜色映射表。

通过 Matlab 中的 Property Editor 或者是 Colormap Edter 来制作需要的颜色映射表，具体的制作颜色映射表的过程可以参考 MATLAB 的帮助文件。制作的颜色表，是以 RGB 的三维矩阵（$m\times3$）的形式输出的，其中 m 表示颜色级数，3 表示红、绿、蓝三种颜色，每一列是 RGB 颜色的中的一种。如：可以通过 Matlab 代码段 1，提取 Matlab 中预定义的颜色表。代码段中 $\boldsymbol{A}$ 表示 128×3 的矩阵，数据类型为 double，范围为 0～1，表示有 128 种颜色级数，RGB 是矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的 double 类型转换为 8 位数据类型的颜色表。

```
%% 颜色范围从蓝到红，并经过青、黄和橙色
A=jet(128)
RGB=im2uint8(A)
```

代码段1 提取颜色表

4 基于 FPGA 的红外图像颜色填充

原始红外图像经过 FPGA 的预处理和灰度分层，通过建立颜色查找表，实现红外图像的伪彩色化显示。基于 FPGA 的红外视频处理系统中应用的是 YCbCr 色空间，需要把 RGB 色空间转换到 YCbCr 色空间进行中进行红外灰度图像的颜色填充。可以利用 FPGA 中的 ROM 资源建立 RGB 色空间的颜色查找表，以红外视频的灰度值作为地址，通过像素时钟读取 RGB 值，再经过 RGB 转 YCbCr 模块实现红外视频的颜色填充。另一种简单的方法是直接计算出颜色

表 RGB 转换到 YCbCr 的值，在 FPGA 中把 YCbCr 建立成颜色查找表，实现红外灰度图像到伪彩色的填充。本文利用 MATLAB 把 RGB 颜色表转换成 YCbCr 颜色表，在 FPGA 中建立 YCbCr 色空间的颜色表，实现红外图像的伪彩色化显示。

4.1 RGB 转换为 YCbCr

在 ITU-RBT.601 标准中给出了 RGB 与 YCbCr 的转换关系式如下：

$$\begin{aligned} Y &= 16+(0.257R'+0.504G'+0.098B') \\ Cb &= 128+(-0.148R'-0.291G'+0.439B') \\ Cr &= 128+(0.439R'-0.368G'+0.071B') \end{aligned} \tag{2}$$

式中：R′、G′、B′表示 Gamma 校正后的 R、G、B 值。在 MATLAB 中把 RGB 颜色表转换为 YCbCr 的过程如代码段 2 所示。

```
A=jet(128)
RGB=im2uint8(A)
Y=round[16+0.257×RGB(:,1)+0.504×RGB(:,2)+
    0.098 RGB(:,3)]
Cb=round[128+(-0.148×RGB(:,1)-0.291×
    RGB(:,2)+0.439×RGB(:,3)]
Cr=round[128+(0.439×RGB(:,1)-0.368×RGB(:,2)+
    0.071×RGB(:,3)]
```

代码段 2 RGB 到 YCbCr 的转换

4.2 建立 FPGA 中 ROM 的数据文件

FPGA 的内置 ROM 可以装载 Hex 或是 Mif 文件，如果表格的数据量小的时候可以选择建立 Hex 或是 Mif 文件，手动输入与地址对应的数据，如果数据量大的时候手动输入费时费力。一种简洁的方法是通过 C++或是 MATLAB 编程建立 Mif 文件，最后通过 FPGA 中建立 ROM 的向导加载 Hex 或是 Mif 文件。

5 红外图像伪彩色实现结果

根据不同的工程应用需求，通过一定的算法合理的给预处理后的红外图像进行灰度分层，通过分层后的灰度作为地址索引，通过像素时钟读取彩色表实现红外灰度图像到伪彩色图像的映射。通过视频编码器可以实时输出伪彩色红外图像。

通过以上的方法，可以在 FPGA 中建立颜色表的数量与 FPGA 中 ROM 资源的大小成正比，可以实时的处理各种标准大小的红外或是可见光图像。本文的研究以自主研发的多功能手持红外观测仪为实验平台，红外图像的大小为 384×288，在红外成像系统工作的过程中，通过六路多路选择器，根据观测目标的需求，可以实现六种不同的红外图像的伪彩色化效果。其过程在 FPGA 中硬件逻辑的实现如框图 3 所示。

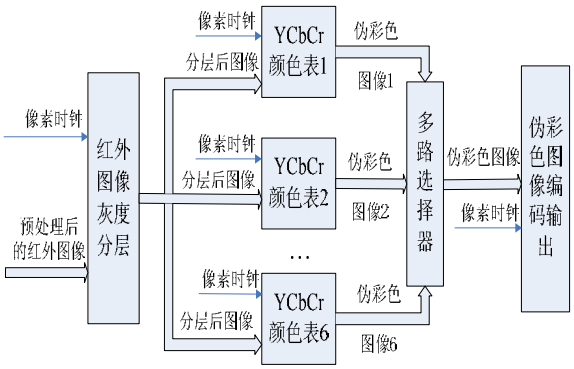

图 3 硬件逻辑框图

Fig.3 Hardware logic diagram

图 4 和图 5 显示了红外灰度图像原图和六种伪彩色化输出效果对比图。其中，(a)为红外灰度图像原图，(b)、(c)、(d)为红外成像系统在线切换不同的颜色表实现的红外图像伪彩色化效果图。

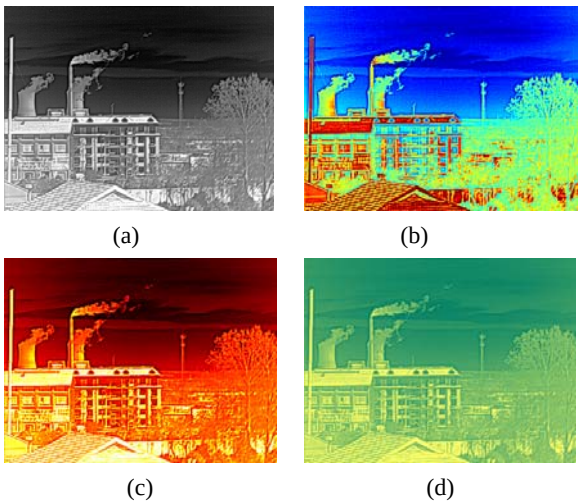

图 4 红外图像原图与伪彩效果图

Fig.4 The comparison between original and pseudo-color infrared image

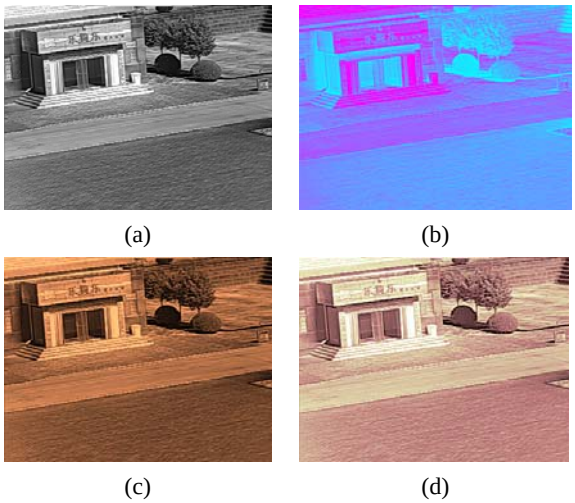

图 5 红外图像原图与伪彩效果图

Fig.5 The comparison between original and pseudo-color infrared image

6 结语

本文分析了红外图像的特点及红外图像伪彩色实现的意义，重点研究了颜色表的制作和通过 FPGA 查找表实现红外灰度图像到红外图像伪彩色化的映射方法，并且实现了多种伪彩色效果的实时在线切换。通过在自主研发的多功能手持红外观测仪中的工程应用，验证了该方法稳定、可靠、灵活、占用系统资源少，很适合在微型成像系统中的应用。它可以广泛应用于红外、SAR 以及可见光图像生物医学成像工程，卫星遥感图像处理及工业检测等领域。

参考文献：

[1] 任斌. 短波红外成像光谱仪电子学关键技术研究[D]. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2009.

[2] 宁国祥, 易新建, 曾延安，等. 红外焦平面阵列图像的伪彩色编码和处理[J]. **红外技术**, 2002, **24**(2): 57-59.

[3] 胡立茂. 红外与微光图像噪声处理及硬件实现[D]. 南京理工大学, 2004.

[4] 于雷. 红外图像预处理算法研究及硬件实现[D]. 南京理工大学, 2010.

[5] 李全越. 基于流域分割的医学图像伪彩色处理[D]. 江苏科技大学, 2008.

[6] 邵凡麒. 红外图像处理[D]. 南京理工大学, 2005.

[7] 杨吉. 非制冷红外成像系统实时图像处理研究[D]. 南京理工大学, 2005.

全国第十四届红外加热暨红外医学发展研讨会征文通知

由中国光学学会红外与光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外分会、中国电子学会量子电子学与光电子学分会、国家红外及工业电热产品质量监督检验中心、锦州市光学学会、云南省光学学会、中国机械工程学会工业炉分会、中国电工技术学会电热专业委员会联合主办，国家红外及工业电热产品质量监督检验中心、江阴市霖肯科技有限公司承办，《红外技术》编辑部、《工业加热》编辑部协办的全国第十四届红外加热暨红外医学发展研讨会，定于 2013 年 10 月在江苏省无锡市召开。

本届会议主要反映与交流近年来，红外加热技术及红外医学领域的新成果和新进展。会议重视学术交流的质量与成效，扩展各学科及技术领域之间的信息交流，最大限度地推动红外加热与红外医学技术应用及产业化。为此，在开展正常学术交流的同时，本届会议将增加相关的行业技术信息交流；并就广大企业普遍关注的专业技术问题，邀请国内红外光电领域的知名专家、学者到会做专题技术报告。热诚欢迎从事红外加热与红外医学研究及工程应用的科研人员踊跃投稿并参会！大会专家委员会届时将评选会议优秀论文，并被推荐到中文核心期刊《红外技术》和《工业加热》期刊发表。

一、应征论文范围

1. 红外辐射加热技术在国民经济中地位、作用及发展前景的综述、评论文章；

2. 红外辐射与物质相互作用，红外加热理论与机理的研究；

3. 红外辐射加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺及相关技术研究；

4. 各种红外辐射加热装置的优化设计与制造及应用实例剖析；

5. 红外加热测试技术、物质的红外光谱及相关技术研究；

6. 红外辐射加热技术在节能减排方面的研究成果；

7. 红外辐射加热在生物学与医学中的应用等；

8. 红外医学新仪器、新材料、新技术、新成果及国内外发展动向；

9. 红外医学的临床理论研究，临床应用研究；

10. 红外辐射加热技术在建筑供暖领域的应用研究；

11. 红外辐射加热技术在日常生活领域的应用研究；

12. 相关的红外激光、微波、毫米波研究与应用。

二、应征论文作者请在 2013 年 9 月 10 日前，将论文全文的电子文档发送到 E-mail：1171288057@qq.com 或 zengyu18@sina.com；或寄到：国家红外及工业电热产品质量监督检验中心（邮政编码：430048）曾宇教授收。并请作者注明详细通讯地址、工作单位及职务、职称和邮政编码。

三、经审稿录用的论文摘要集，将由《红外技术》编辑部、中国学术期刊（光盘版）电子杂志社编辑出版。

四、会议筹备组的通信地址：武汉市东西湖区金银湖东二路 5 号，国家红外及工业电热产品质量监督检验中心（邮政编码：430048）；

联系人：曾宇，吴迪；E-mail：1171288057@qq.com，zengyu18@sina.com。

电话：027-68853723，85808990；传真：027-85795691。

全国第十四届红外加热暨红外医学发展研讨会筹备组