

·信号与信息处理·

## 基于FPGA的图像压缩与编码算法设计

侯宏录, 姚恩源

(西安工业大学光电工程学院, 陕西 西安 710021)

**摘要:** 高帧频相机需要较长时间记录目标状态的图像信息, 由于记录介质的存储容量所限, 需要对图像进行实时压缩、记录与传输。EZW和SPIHT两种编码方法速度慢, 不易在FPGA上实现, 且对缓存要求较高。根据小波变换后小波系数的冗余及分布特性, 提出一种新的编码算法, 通过直接对系数大小做比较, 然后结合数值特性和分布特性对小波系统进行动态分组, 用较少的存储空间记录图像系数信息。该算法适合在FPGA上实现, 实验结果验证了方法的可行性。

**关键词:** 图像压缩; 图像编码; 小波变换; FPGA

中图分类号: TN919.3

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2013)-01-0042-05

## Design of Image Compression and Encoding Algorithm Based on FPGA

HOU Hong-lu, YAO En-yuan

(School of Photoelectrical Engineering, Xi'an Technology University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** It takes a long time for high speed frame cameras to record image information of target states. The images need to be compressed, recorded and transmitted in real time for limited storage capacity of record medium. The speed of EZW and SPIHT coding methods are both too slow to work out on field-programmable gate array (FPGA) and they need high quality buffer storage. A new coding algorithm has been proposed based on redundancy and distribution characteristics of wavelet coefficients after wavelet transformation. Wavelet systems are grouped dynamically by directly comparing with magnitude of coefficients and incorporating characteristics of numbers and distributions. Less memory space is used to record coefficient information of images. The algorithm is suitable for FPGA. The feasibility of the method is verified by experiments.

**Key words:** image compression; image encoding; wavelet transformation; field-programmable gate array (FPGA)

考虑到体积、质量的限制因素, 高帧频相机记录介质往往采用CF卡等记录。高帧频、高分辨率与记录时间二者之间产生了矛盾<sup>[1]</sup>。比如在500 fps的高帧频相机中, 当分辨率达到1 280×1 024时, 1 s的图像数据量达到1.8 Gbps。如果不进行图像压缩, 后续的存储与传输系统就无法把如此海量的图像数据及时存储和传输。目前解决的有效手段是采用图像压缩技术<sup>[2]</sup>, 把图像数据压缩后, 再将其存储或者传输。按照图像压缩后的图像是否失真, 分成无损压缩和有损压缩两类<sup>[3]</sup>。随着提升小波以及整数小波

变换的出现, 使得基于小波变换的图像压缩方法越来越简单, 而且方便硬件电路的设计与实现。文中采用基于小波变换的图像压缩技术, 基于FPGA的硬件图像编码电路设计实现图像实时压缩编码算法。

### 1 三级提升小波变换系数特征分析

文中所采用的小波变换为LaGell5/3整数小波变换, 适于图像快速压缩。由于通常的图片有许多冗余, 利用提升小波变换的原理, 通过加权值将相邻像素之间冗余信息集中到一部分像素上, 其他元素只记录图像本

收稿日期: 2012-12-25

基金项目: 陕西省科学技术研究发展计划项目(2011K06-22)

作者简介: 侯宏录(1960-), 男, 陕西省宝鸡市人, 博士, 教授, 主要研究方向为光电测试, 信息融合, 复杂系统建模、仿真与效能评估。



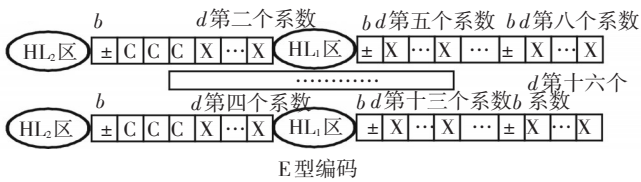


图4 五种编码类型

图4中,  $a$ 表示标志位,置1则表示对该族进行零树编码,否则为非零树编码。 $b$ 表示该位的符号位,0表示正数,1表示负数。 $c$ 为记录对该组系数编码时所需要的位数,由于系数为八位,所以用三位二进制表示。 $d$ 是编码后该系数的值。

### 2.3.2 其他区编码方法

其他小波系数分为9个区<sup>[9]</sup>:HL<sub>1</sub>、HL<sub>2</sub>、HL<sub>3</sub>、HH<sub>1</sub>、HH<sub>2</sub>、HH<sub>3</sub>、LH<sub>1</sub>、LH<sub>2</sub>和LH<sub>3</sub>。又可分成三组,构成三个族区,分别为HL、HH、LH。由于三族小波系数分布特性相似,所以三个族的压缩方法相同。下面以HL区为例分析,其他两族编码方法与HL相同。

HL<sub>3</sub>中的一个小波系数对应HL<sub>2</sub>中的四个小波系数<sup>[10]</sup>。HL<sub>2</sub>中的一个小波系数对应HL<sub>1</sub>中的四个小波系数,一棵树共有21个系数组成一棵树。如图5所示。

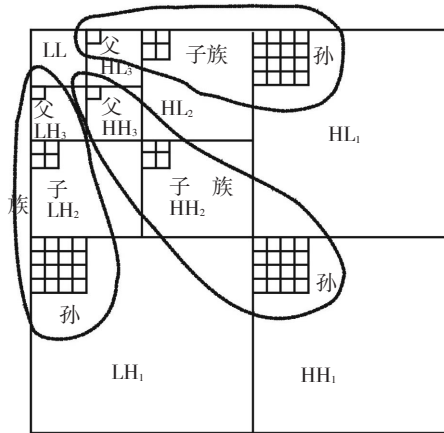


图5 三级小波变换后的树结构

SPIHT编码方法<sup>[11]</sup>是判断零树根,方法是寻找零树根,在编码时,只要遇到零树根,可对整棵树进行编码。如果遇到了非零树根,则把编码时所占的二进制位数增加,再判断是否为零树根。这种方法计算速度相对较慢,且需链表。文中基于以上思想的基础之上,提出一种新的无链表方法,力求快速找到优化编码位,对小波系数进行编码。过程如下:

先比较HL<sub>3</sub>区与HL<sub>2</sub>、HL<sub>1</sub>区中系数的绝对值所

占最小位的个数,如果相差小于三,该树称为零树,取其中较大者作为整个树编码所占的位数,采用图4中的B型编码。如果相差大于或等于三,该树叫非零树,则对HL<sub>3</sub>区采用图4中的C型编码,然后比较HL<sub>2</sub>和HL<sub>1</sub>区中系数的绝对值所占最小位的个数,如果相差小于三,取两区中最大的位数进行编码,采用图4中的D型。如此利用了HL<sub>2</sub>和HL<sub>1</sub>区中相邻小波系数之间的相关性,提高了编码的效率。如果相差大于或等于三,通常情况下是由于HL<sub>2</sub>中的四个小波系数值相关性较强所引起的,则把HL<sub>2</sub>区分成四个系数,每个系数与HL<sub>1</sub>中对应的四个系数重新构成一组,取最大位数进行编码,采用图4中的E型编码。

### 2.3.3 编码流程

通过以上的分析,得到编码流程图,如图6所示。

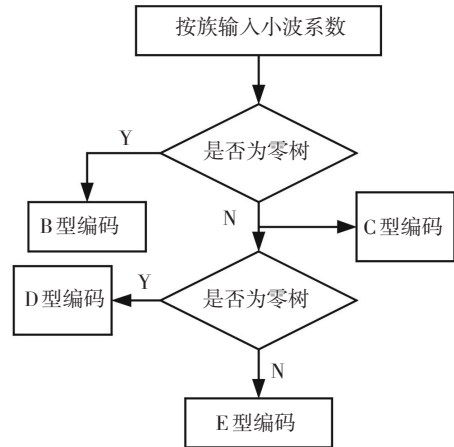


图6 编码流程图

HH和LH区的压缩方法和HL区相同。以上方法的优点有:在判断零树时从低频和高频两个方向同时判断,能快速确定出所需的编码位数;有效地利用了树之间系数的相关性和同一区域之间系数的相关性,提高了编码效率;不需要链表,运算中可采用优先编码器,状态机等,提高了运算速度,同时适合在FPGA上实现。

而对于复杂图片,LL区压缩效率不如四级变换后压缩的效果好;变换后系数的正负值在大范围内呈现随机分布,而在小范围内有一定规律可循,如果能消除系数的符号位,则可提高压缩效率。但由于编码速度的限制,设计中忽略符号位的压缩;适用于三级小波变换后的结果,如果是多级变换,不适合在FPGA平台上实现。

### 3 基于FPGA的编码算法的实现

本系统由三大模块组成,分别为数据输入模块,数据判断模块和数据编码输出模块。由于文章篇幅有限,只列出编码算法的RTL级电路图,如图7所示。

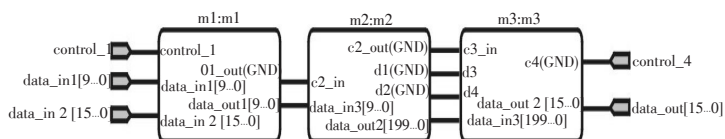


图7 编码算法的RTL级电路图

数据输入模块主要功能是控制外部存储器,把变换后的小波系数按照族的顺序以乒乓方式传输至数据判断模块,图中m1所示。数据判断模块中有大量的优先编码器、状态机等,判断数据的编码方式,把数据编码方式的结果传输给下一模块,同时把上一模块输入的小波系数进行串并转换,转换成并行数据再传输至下一模块,如图中m2所示,输出的数据达200多位。数据编码输出模块在接收到上一模块的数据后,先对编码方式进行分析,最后对整个数据按照所要求的方式进行编码,如图中的m3以16位串行数据形式输出。

### 4 测试结果

为了验证该算法在FPGA上实现的可行性,采用了Altera公司CycloneIV系列芯片,首先,对图像进行5/3小波变换,然后把经过小波变换的系数存入片外SDRAM,当压缩完成后,通过JTAG下载电缆,将该存储器的数据通过QuartusII软件的In-System Memory Content Editor功能读回到计算机,并存储为mif格式文件。对于512×512大小、8位深度的图像,做如下分析。

通过对4幅大小为512×512、深度为8位的图像(见图9~图12)无损压缩编码,对比结果如表1所示。

表1 测试结果对比

| 图像    | 原图大小 | SPIHT 压缩后 | 压缩比 | 新算法 压缩后 | 压缩比 |
|-------|------|-----------|-----|---------|-----|
| Lena  | 256  | 44.6      | 5.7 | 41.2    | 6.2 |
| BAB   | 256  | 49.2      | 5.2 | 41.9    | 6.1 |
| Test1 | 256  | 33.2      | 7.7 | 39.2    | 6.5 |
| Tset2 | 256  | 44.2      | 5.8 | 41.0    | 6.3 |

从表1可以看出,对简单图形不能更加有效的压缩。主要是因为变换后的小波系数的正负值大范围内无规律分布,小范围内有一定规律,如果能消除系

数的符号位,能更加有效压缩,由于对编码速度的限制,本设计中忽略符号位的压缩。对于比较复杂的图像压缩效果和SPIHT算法相当,但是对通常的图像的压缩效率比SPIHT等算法效率高。



图8 Lena

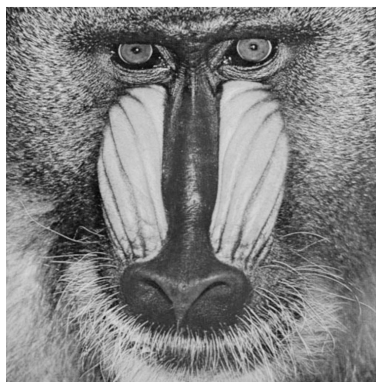


图9 BAB

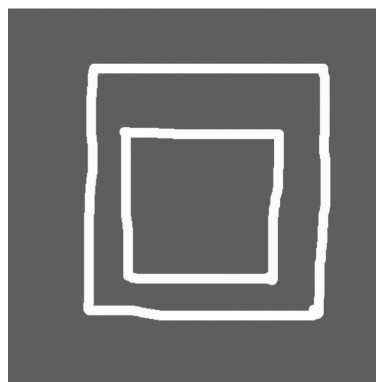


图10 Test1



图11 Test2

## 5 结论

针对普通无损图像压缩算法难以在FPGA上实现,并且运算速度不高,不适合用于高频相机的不足,提出了一种适合FPGA图像压缩算法。采用双向扫描、乒乓方式处理、状态机、串并转换等方法大大缩短了编码时间,提高了编码性能。在不使用链表的条件下,减少了运算量,提高了运算效率。

### 参考文献

- [1] 魏秋明,朱耆祥,李永远.在动态测量中面阵CCD受控变速读出方法研究[J].光电工程,1997,24(3):16-20.
- [2] 徐林.基于信息保持的医学图像压缩编码[D].上海:复旦大学,2004.
- [3] 张扬.基于小波变换的遥感影像无损压缩方法及效率研究[D].北京:首都师范大学,2008.

- [4] 廖锋峰,郭行波,刘文捷.基于小波变换的图像编码研究[J].浙江工业大学学报,2010,38(2):197-201.
- [5] 刘洞波.一种扩展的嵌入零树小波算法[J].现代计算机,2006,243:94-97.
- [6] 张焯.静态图像的感兴趣区域压缩编码研究[D].苏州:苏州大学,2003.
- [7] 王相海,张福炎.一种基于零树小波的图像比率可分级编码方法的研究[J].南京大学学报,2002,38(2):1136-1140.
- [8] 熊雨前.先进的静态图像压缩编码标准:JPEG2000特征及实现简述[J].人工智能与识别技术,2010,4:33-36.
- [9] 黄卓君,马争鸣.多小波图像编码[J].中国图像图形学报,2000,5:309-316.
- [10] 陈援非.基于小波包的区域联合矢量量化(WPVQ)图像压缩方法研究[D].山东:山东大学,2002.
- [11] 杨志高,李鹏飞.基于整数小波变换和子带比特平面编码的图像压缩算法[J].中国图像图形学报,2003(6):625-630.

(上接第6页)

小于0.3 mm的刻线,这样精度为0.1 mrad。

激光接收轴的偏差精度,只要小孔光阑在平行光管焦面上移动精度0.3 mm,这样精度为0.1 mrad。

### 3.9 火线与平行光管光轴平行差的误差

(1)炮口轴线获取装置与炮口轴线同轴度误差  $\sigma_1 = 0.023 \text{ mrad}$

(2)平行光管误差  $\sigma_2 = 0.025 \text{ mrad}$

(3)扩径镜组误差  $\sigma_3 = 0.025 \text{ mrad}$

(4)CCD的检测误差为  $\frac{0.010}{200} = 0.05 \text{ mrad}$ ,只需要4细分就可得  $\sigma_4 = 0.0125 \text{ mrad}$ ,不采用细分计算精度则  $\sigma_4 = 0.05 \text{ mrad}$

总的误差为

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2} = 0.065 \text{ mrad} \quad (19)$$

## 4 结束语

瞄线与火线多轴一致性测试系统的设计,使检测自动化、现代化,能够及时准确地输出测试结果,采取的五棱镜扩径镜组设计方案,极大地提高了测量系统的精度,并可为多轴一致性测试系统进行精确结构设计提供参考,对测试系统的误差分析,可以证明能够满足大视场情况下的测试精度要求。

### 参考文献

- [1] 陈文建,郑宝忠,杨建莉.多光谱多光轴自动校准技术[J].应用光学,2004,25(1):60-64.
- [2] 付跃刚,王志坚,李博.多光谱光学系统光学平行性的调校和检验方法探讨[J].长春光学精密机械学院学报,2001,24(4):11-14.
- [3] 黄静,刘朝晖,折文集,等.室内多波段光轴一致性测试系统的设计[J].应用光学,2007,28(5):663-666.
- [4] 李刚,周冰,孙新华,等.激光制导装置出射激光束散角和光轴平行性的简易检测方法[J].光学技术,2004,30(5):628-630.
- [5] 张雏,周冰,沈学举,等.精确校正激光测距仪三光轴平行的理论计算方法研究[J].光学·精密工程,2002,10(6):650-654.
- [6] 付跃刚,姜会林.火炮轴线一致性与偏离角测试系统研究[J].仪器仪表学报,2002,23(5)增刊:80-82.
- [7] 金友.采用静止光学头和移动五棱镜的长轨轮廓仪[J].光机电信息,1998(12):21-26.
- [8] 付跃刚,王志伟,王志坚.用五棱镜法调校平行光管原理的探讨[J].长春光学精密学院学报,2002,25(1):11-13.
- [9] 李松.用五棱镜法检测光束准直性的原理分析[J].测绘信息与工程,1999(2):30-31.
- [10] 凌军,刘秉琦,赵熙林.几种光轴平行性测试方法的比较与探讨[J].应用光学,2003,24(1):43-45.