

# 机载图像无损/近无损压缩方案及其 FPGA 实现

刘 波

姜宏旭

( 北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100083 ) ( 北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100083 )

练有品

逯进元

( 后勤工程学院 后勤信息工程系, 重庆 400042 ) ( 中国网通集团公司 河北分公司, 石家庄 050000 )

**摘 要 :** 根据机载图像压缩和传输的特点, 在改进 JPEG-LS 算法基础上, 设计了一种有效的图像无损/近无损压缩方案. 该方案由去相关处理、熵编码及压缩位率控制三部分组成. 去相关处理部分解决了 JPEG-LS 预测模型本身的误码扩散问题, 熵编码部分使用快速有效的 Golomb 熵编码器完成对预测误差的编码, 同时解决了机载应用中数据传输率恒定条件下压缩码率的控制问题. 对压缩算法现场可编程门阵列( FPGA )设计中的一些关键问题也给出了有效的解决途径, 从而形成了一套完整、可行的机载图像压缩解决方案. 最后通过 FPGA 实现和验证了压缩方案及逻辑设计的正确性和可行性.

**关 键 词 :** 图像编码; 图像压缩; 实时系统; 现场可编程门阵列( FPGA )

**中图分类号 :** TN 911. 73

**文献标识码 :** A **文 章 编 号 :** 1001-5965( 2006 )12-1443-04

## Scheme design and FPGA implementation of airborne image lossless and near-lossless compression

Liu Bo

( School of Electronics and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China )

Jiang Hongxu

( School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China )

Lian Youpin

( Department of Logistic Information Engineering, Logistic Engineering University, Chongqing 400042, China )

Lu Jinyuan

( Hebei Communication Corporation, China Netcom Group, Shijiazhuang 050000, China )

**Abstract :** For plane on-board image lossless and near-lossless compression, an improved compression algorithm based on the JPEG-LS was given. The algorithm is composed of three parts, decorrelation processor, adaptive entropy coder and controlling of compression ratio. The new decorrelation model solved the problem of transmission error propagation in JPEG-LS. A fast and effective entropy coder named Golomb was modified and used in the algorithm, and that a valid controlling strategy of compression ratio was present with invariable speed of image data input and output, so a full and feasible scheme was given and simulated with VHDL for airborne image coding and transmission. Furthermore, the whole scheme was implemented and verified with one chip of field-programmable gate arrays( FPGA ) manufactured by Xilinx Corp. Results show the encoder meets the application of airborne image coding well in bulk, weight, and power consumption, and all key techniques in FPGA design are referred to.

**Key words :** image coding; image compression; real time systems; field-programmable gate arrays

收稿日期: 2005-12-05

基金项目: 武器装备预研基金资助项目

作者简介: 刘 波( 1972 - ) 男, 辽宁沈阳人, 硕士生, ipcbuaa@tom.com.

无损图像数据压缩目的在于减小传输信道带宽,降低存储容量,降低传输时间. JPEG-LS<sup>[1]</sup>作为图像数据无损/近无损压缩标准,在压缩性能和压缩效率方面具有很多优越性,因此成为目前图像无损压缩应用中最广泛被采用的方法之一<sup>[2]</sup>. 机载图像压缩与通常的静止图像压缩具有基本相同的技术要求,但机载图像压缩还具有以下特点: ①机载图像实时压缩编码器属于机载设备,要求压缩算法尽可能简单,以使压缩编码器的体积、功耗和重量满足机载设备要求;②机载图像的数据传输介质为噪声信道,压缩数据在传输过程中不可避免地会发生误码,因此要求压缩算法能够尽可能缩小误码影响的范围,减少误码扩散;③数据量大,实时性强,通常利用软件处理无法满足实时应用的要求,所以一般要求机载图像的压缩算法便于硬件实现.

虽然 JPEG-LS 标准给出了完整的图像数据压缩算法描述,但由于上述特殊要求,在具体应用 JPEG-LS 进行机载实时压缩时需要解决算法的工程化改进、研究适合现场可编程门阵列( FPGA )的硬件实现方法和设计压缩码率的有效控制方法等问题. 以机载红外记录仪图像数据无损/近无损压缩的实际需要为基础,研究 JPEG-LS 在机载应用的实现方案,并完成了压缩系统的 FPGA 设计、实现和验证.

### 1 JPEG-LS 图像压缩算法

1998 年 JPEG-LS 作为 ITU-T 建议的国际标准 ISO/IEC 14495-1 正式公布,用于取代原来 JPEG 中的静止图像无损压缩模式. JPEG-LS 标准的无损/近无损压缩处理的流程如图 1 所示.

JPEG-LS 算法中主要包括 3 部分: ①建立图 2 所示的基于上下文的去相关模型;②规则( regular )的预测方式和误差编码;③游程编码,通过对图像连续平坦区域进行游程编码提高压缩效率.

与其它压缩算法相比,在同等计算复杂度下

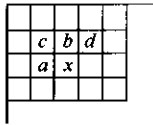


图 2 上下文建模和预测的因果模板

JPEG-LS 能实现几乎最好的无损/近无损压缩效果<sup>[3-4]</sup>,所以在无损/近无损图像压缩中被广泛使用. 但针对机载图像压缩的特殊要求, JPEG-LS 还要解决以下 3 个重要问题: ①结合机载图像具体应用特点,完成压缩算法的工程化改进;②由于其预测模型及编码的计算复杂度高,需要研究适合 FPGA 的实现方法;③针对其压缩倍率的不确定性,在信道数据率恒定条件下,需要研究压缩码率的有效控制方法.

### 2 机载图像的压缩方法设计

根据 JPEG-LS 的压缩原理,结合机载图像压缩应用需要,压缩编码处理流程按照从上到下、从左到右的顺序,以 8 行为处理单元分割输入图像,将每 8 行图像数据称为一个图像条带,每个条带为上下文无关的独立编码对象.

#### 2.1 防误码扩散方案

由于实际应用中图像的理想光滑区域很少,游程编码对编码效果提高不大,且增加硬件设计的复杂性,所以取消了游程编码模式.

作为机载的实时压缩处理器,防止误码扩散是算法鲁棒性设计中要解决的关键问题之一,方案中通过周期性切断上下文相关性和增加标志码来解决误码扩散.

1) 周期性地切断图像预测中的上下文相关性以防止误码扩散. 在 JPEG-LS 中使用了图 2 所示的预测模型,在解压缩时如果  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  中某像素值因误码而出错,则误差可能会传递重建值,并在连续性的预测模型下误差会一直被传播下去,从而导致破坏整幅图像质量. 所以在机载图像压缩方法设计中须间隔一定图像范围(方案中的范围即为图像条带)截断预测模型的连续性,即在各图像条带内部,像素间可以使用本条带内的相邻像素进行预测去相关,但不能使用相邻条带的像素参与预测计算. 在图像条带中构造了如下的预测模型,其中  $\hat{x}$  为预测值.

$$\hat{x} = \begin{cases} a & \text{条带的第 1 行数据} \\ \min(a, b) & c > \max(a, b) \\ \max(a, b) & c < \min(a, b) \\ a + b - c & \text{其它} \end{cases}$$

尽管这样周期性地截断预测相关性会降低一

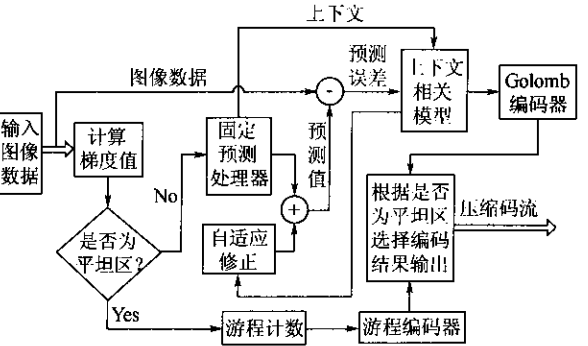
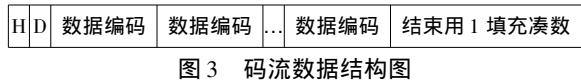


图 1 JPEG-LS 压缩处理流程

些预测效率并影响压缩效果,但针对机载应用的特殊要求,该方法是提高压缩系统可靠性的有效方法.

2) 在编码数据流中添加唯一性标志码. 为了防止误码扩散,除了需要定期截断预测相关性外,还需要添加截断的起始标志码,这样当突发大量误码时,能够限制误码影响范围,尽快恢复解码端的正确工作状态. 在本方案中,其输出码流的数据结构如图 3 所示. 其中 H 是条带的头标志码,位宽为 32 bit,具有统计唯一性.



2.2 准确的位率控制

精确的位率控制是机载图像数据压缩的必需部分. 由于机载图像的无损/近无损压缩处理器的数据输入/输出速率一般是恒定的,即图像传感器以固定的速率向压缩处理器输入数据,输出的压缩数据也要通过恒定速率的信道传输. 在具体应用中,例如图像数据输入率为 64 Mbit/s,信道传输数据率为 25.6 Mbit/s,为完成图像数据实时传输,需要压缩处理器能够实现 2.5 的平均压缩倍率.

由于实际应用中图像数据内容的不可预测,导致其无损/近无损压缩倍率很难控制. 例如,若一段时间内获取图像的纹理极其复杂,使图像数据的无损压缩倍率很低(压缩比接近于 1),则压缩后的数据率就超过了 25.6 Mbit/s,显然无法通过 25.6 Mbit/s 的信道实时传输,如果不采取有效的位率控制措施,则在这段时间内会造成部分压缩数据丢失. 考虑到机载应用中有体积、质量和功耗等诸多因素的限制,压缩处理器不可能使用大容量的输出缓存器,方案中只能使用容量相对较小的输出缓存器设计有效的位率控制.

采用了图 4 所示的参数反馈位率控制,控制过程首先根据压缩系统后端输出缓存大小设置合适的阈值,然后在每行图像压缩结束时比较缓存

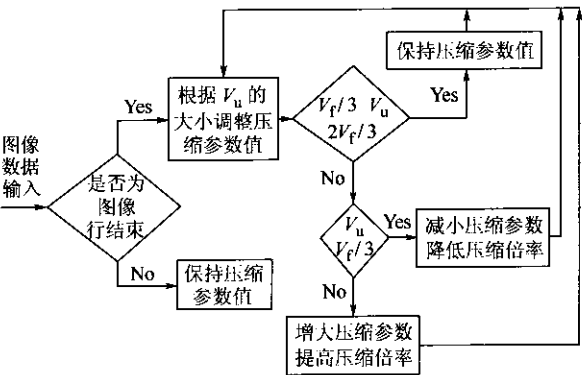


图 4 压缩参数及倍率调整原理图

中实际数据量与设定阈值的关系,并根据比较结果来调整压缩参数值,以此达到控制压缩倍率的目的. 实验测试证明该方法能实现准确的位率控制,对各种图像数据也具有普遍通用性. 图中, $V_f$  为输出 FIFO 缓存的总容量大小, $V_u$  为输出 FIFO 缓存当前使用的容量大小.

3 算法 FPGA 设计的关键技术

3.1 算法的 FPGA 结构映射

由于机载应用的特殊性,图像压缩不可能在通用设备上运行软件方式来实现,而必须将压缩算法设计成专用处理器<sup>[5]</sup>,所以压缩算法的 FPGA 实现是对其可行性的进一步检验,也是从方法设计向机载应用转化的必要步骤.

根据改进的 JPEG-LS 算法,将压缩的处理流程恰当地划分并映射为 FPGA 的电路功能模块,包括图像输入、预测/量化、编码、位率控制和图像输出等 5 个模块,见图 5.

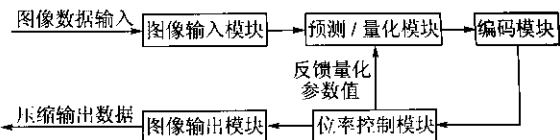


图 5 压缩传输卡 FPGA 模块结构图

图像输入模块:接收输入图像数据,检测图像帧头标志,为下一步建立预测模型和压缩编码提供条件.

预测/量化模块:构造图 2 所示的用于上下文建模和预测的因果模板,根据位率控制模块的反馈信息调整量化参数,实现压缩编码前的量化处理.

编码模块:对量化后的误差结果进行 Golomb 编码,并将编码的结果依次合并为以字为单元的数据,并写入压缩数据 FIFO 存储器中.

位率控制模块:根据压缩数据 FIFO 存储器的状态调整压缩参数,反馈给压缩处理过程,实现压缩倍率的有效控制.

图像输出模块:根据要求将压缩数据 FIFO 存储器中的数据读取,并按图 3 所示的数据结构构成完整的发送帧,实现并串转换后发送.

3.2 预测模型的构造

为了实现图 2 所示的预测模型,要求一直保存当前像素点之前的  $n$  个点的恢复值,其中  $n$  的值与图像行宽像素点数相同. 在应用中图像行宽为 4 480 个像素点,为了构造预测单元则需要在 FPGA 的内部实现一个容量约为 4 480 Byte 的存

存储器暂存恢复的图像值。

在 FPGA 设计中为了构造预测模型像素值的存储队列,理论上可以有多种方法,如双端口存储器、寄存器级联、FIFO 等。但针对到 4 480 个预测单元值的暂存是一个动态过程的特点,双端口存储器显然难以满足这一要求。尽管设计中可以采用图 6 所示字节寄存器  $R_i$  级联的方式存储预测模型数据,但这种方式需要 4 480 Byte 的寄存器,极大地消耗了 FPGA 的时序逻辑资源,影响其它逻辑的综合和优化,所以采用了构造 FIFO 组合来暂存预测模型的像素值。

系统中通过 FIFO 资源的级联后构成一个容量为 4 480 Byte 的存储器组合,结构如图 7 所示。

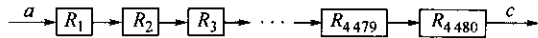


图 6 通过寄存器组合存储预测模型数据

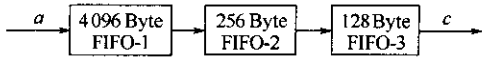


图 7 通过 FIFO 组合存储预测模型数据

3.3 Golomb 编码的设计和优化

JPEG-LS 中采用了具有自适应特点的 Golomb 编码,其结果比常用的静态霍夫曼编码效率高,但由于其计算量大、逻辑判断复杂,当要求编码器的处理速度较高时,会给 FPGA 设计带来一系列新问题。由于应用中要求 Golomb 编码器能够对高速、连续输入图像数据的预测结果进行实时编码,所以如何实现和优化 Golomb 编码器就成为 FPGA 设计中的关键问题之一。

JPEG-LS 中要实现对预测误差  $e$  的 Golomb 编码,需要计算以下 2 个数值:  $e$  的非负数映射值  $E$  和编码参数  $k$ 。 $E$  值计算的实现相对比较简单,当已知预测误差  $e$  时,通过如下的映射关系即可获得  $E$  的值:

$$E = \begin{cases} -2e - 1 & e < 0 \\ 2e & \text{其它} \end{cases}$$

但  $k$  值是与前面编码过程相关的参数,要获得当前的  $k$  值,需要经过图 8 所示的一系列复杂计算和逻辑判断过程。

设计的编码器具有高速实时性,压缩编码器需要在每个时钟周期处理一个像素点,从而形成连续、实时的压缩编码能力。在 FPGA 设计中理论上可采用纯组合逻辑方式完成一系列的计

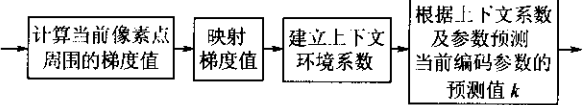


图 8 Golomb 编码  $k$  值的计算流程

算判断来获得  $k$  值,但这种设计通常会产生下列问题:一方面导致设计的逻辑综合可能难以完成,另一方面可能会严重影响压缩处理器的最高处理速度,导致设计无法满足高速处理的要求。针对这些问题,在 Golomb 编码器的 FPGA 设计中,采用了并行流水线方式,其结构如图 9 所示。

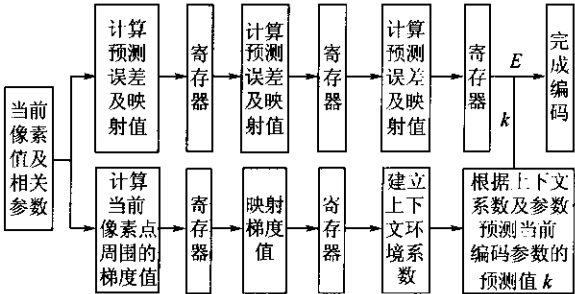


图 9 Golomb 编码过程并行流水线

建立和优化流水线的关键在于恰当地插补时序逻辑。在图 9 中将 Golomb 编码的计算处理过程划分为几个相对独立的组合逻辑功能模块,在各模块之间插入触发寄存器,建立了时序逻辑与组合逻辑混合的流水线结构。虽然这样相对于输入信号,输出信号推后了 3 个时钟周期产生,但建立的流水线将信号的周期内延时从 110 ns 减小到 40 ns 左右,使电路的理论工作频率达 25 MHz 左右,可以满足设计要求。

在图 9 的并行流水线设计中,难点是保证所建立的流水线能够恰当地控制时延。时延控制的基本目标是使整个电路的最大时延满足系统的工作速度要求,最佳目标为使整个电路的最大时延路径趋于最小。控制时延的基本手段是建立和优化流水线。建立和优化流水线设计虽然是提高系统运行速度的关键技术之一,但是以占用硬件资源为代价的,所以优化中只要满足了系统速度要求,就尽量避免出现过于密集的流水线结构以节省硬件资源。计算出  $E$  和  $k$  值后,通过式(1)和式(2)即可得到 Golomb 编码的相关参数。

$$N_0 = E/2^k \tag{1}$$

$$M = E \& (2^k - 1) \tag{2}$$

其中  $\&$  为按位与运算符; $N_0$  为编码时首先向比特流中写入“0”的个数,然后写入截断码“1”,最后以  $k$  bit 的长度写入  $M$  值,则 Golomb 编码结果如图 10 所示。

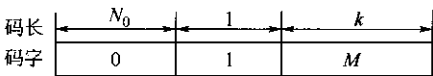


图 10 Golomb 编码结果

在不改变整个机器人构型的前提下 ,重新建立整个机器人的 D-H 坐标系. 使用根据这一坐标系求得运动学反解控制机器人 ,就可以在一定程度上提高带有球腕结构的整个机器人的位姿精度.

参考文献 ( References )

[ 1 ] 熊有伦. 机器人学[ M ]. 北京 :机械工业出版社 ,1993  
Xiong Youlun. Robotics[ M ]. Beijing :Publishing House of Mechanical Industry ,1993( in Chinese )

[ 2 ] Driels M ,Mooring B W ,Everett L J. Fundamentals of robot calibration[ C ]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Philadelphia PA ,1988 2 :952 -957

[ 3 ] Everett L J ,Driels M ,Mooring B W. Kinematic modelling for robot calibration[ C ]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Releigh NC ,1987 1 :183 -189

[ 4 ] Roth Z S ,Mooring B W ,Ravani B. An overview of robot calibration[ J ]. IEEE Journal of Robotics and Automation ,1987 3 :377 -385

[ 5 ] Hayati S A ,Tso Kam S ,Roston G. Robot geometry calibration [ C ]//IEEE International Conference on Robotics and Automation. Philadelphia PA ,1988 2 :947 -951

[ 6 ] Veitschegger W K ,Wu Chihaur. A method for calibrating and compensating robot kinematic errors[ C ]//IEEE International Conference on Robotics and Autonation. Releigh NC ,1987 1 :39 -44

[ 7 ] 陈宝林. 最优化理论与算法[ M ]. 北京 :清华大学出版社 ,2002  
Chen Baolin. Opitimization theory and algorithm[ M ]. Beijing :Tsinghua University Press ,2002( in Chinese )

( 责任编辑 :文丽芳 )



( 上接 1446 页 )

4 基于 FPGA 的实现和验证

选用了 Xilinx 公司的型号为 XC2V1500 的 FPGA 芯片 ,使用一块芯片即实现了压缩系统的所有逻辑设计. 压缩处理器的体积、质量和功耗都很小 ,适合机载应用的特点和要求. 压缩处理器的结构如图 11 所示.



图 11 压缩卡结构示意图

调试完成的压缩处理器使用输入速率为 8 MB/s 的图像数据源进行了长时间、多样化、大数据量的测试验证 ,结果证明压缩处理器可以长时间、稳定地对各种输入图像数据进行实时的压缩编码.

5 结 束 语

针对机载图像压缩和传输的特点 ,改造了 JPEG-LS 的预测模型和编码方法 ,增加了算法中对压缩码率的有效控制 ,构造了一套完整的适合机载图像无损/近无损压缩和传输的方案. 基于

HDL 语言完成了对压缩方案的设计和仿真 ,针对算法中预测模型的构造、Golomb 编码的实现和优化提出了有效的解决方法. 使用 Xilinx 公司的一片 XC2V1500 实现了压缩系统的所有逻辑设计 ,通过测试和联试证明系统可稳定地进行图像的编码传输.

参考文献 ( References )

[ 1 ] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 FCD 14495-public draft ,JPEG-LS [ S ]

[ 2 ] Weinberger M J ,Seroussi G ,Sapiro G. LOCO-I :a low complexity , context-based , lossless image compression algorithm[ C ]//Data Compression Conference Proceedings. Piscataway , NJ :IEEE ,1996 :140 -149

[ 3 ] Weinberger M J ,Seroussi G ,Sapiro G. LOCO-I lossless image compression algorithm : principles and standardization into JPEG-LS[ J ]. IEEE Transactions on Image Processing ,2000 9 ( 8 ) :1309 -1324

[ 4 ] Jiang J ,Guo B ,Yang S Y. Revisiting the JPEG-LS prediction scheme[ J ]. IEEE Proc-Vis Image Signal Process ,2000 ,147 ( 6 ) :575 -580

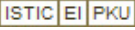
[ 5 ] Savakis A ,Piorun M. Benchmarking and hardware implementation of JPEG-LS[ C ]//IEEE International Conference on Image Processing. NY :Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society ,2002 2 :II/949-II/951

( 责任编辑 :文丽芳 )

# 机载图像无损/近无损压缩方案及其FPGA实现

作者：[刘波](#)，[姜宏旭](#)，[练有品](#)，[逯进元](#)，[Liu Bo](#)，[Jiang Hongxu](#)，[Lian Youpin](#)，[Lu Jinyuan](#)

作者单位：[刘波](#),[Liu Bo](#)(北京航空航天大学, 电子信息工程学院, 北京, 100083)，[姜宏旭](#),[Jiang Hongxu](#)(北京航空航天大学, 计算机学院, 北京, 100083)，[练有品](#),[Lian Youpin](#)(后勤工程学院, 后勤信息工程系, 重庆, 400042)，[逯进元](#),[Lu Jinyuan](#)(中国网通集团公司, 河北分公司, 石家庄, 050000)

刊名：[北京航空航天大学学报](#)

英文刊名：[JOURNAL OF BEIJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS](#)

年，卷(期)：2006，32(12)

被引用次数：0次

## 参考文献(5条)

1. [ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1 FCD 14495.public draft. JPEG-LS](#)
2. [Weinberger M J, Seroussi G, Sapiro G. LOCO-I: a low complexity, context-based, lossless image compression algorithm](#) 1996
3. [Weinberger M J, Seroussi G, Sapiro G. LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS](#) 2000(08)
4. [Jiang J, Guo B, Yang S Y. Revisiting the JPEG-LS prediction scheme](#) 2000(06)
5. [Savakis A, Piorun M. Benchmarking and hardware implementation of JPEG-LS](#) 2002

## 相似文献(10条)

1. 学位论文 [赵楠楠](#) [基于提升格式的图像压缩方法研究与实现](#) 2006  
现代信息社会对通信、信号处理业务要求的不断增长，特别是图像和视频信号应用技术的迅速发展，对图像压缩算法的效率提出了更高的要求。JPEG2000图像编码标准的出台，意味着以第二代小波变换——基于提升格式的小波变换为基础的图像编码方法已经成为研究的热点和流行趋势。总体概括起来，本文的主要研究工作和创新点体现在以下几个方面：  
(1) 介绍了小波变换的基本理论，多分辨分析的概念以及小波分解和重构的快速算法——Mallat算法。提升格式是第二代小波变换的核心，本文的重点是研究了第二代小波变换的基本理论及其在图像压缩上的应用。  
(2) 翻转结构进一步提高了提升格式的计算速度。本文设计了一种基于翻转形式的递归结构(FRA)，实现了多级离散小波变换。FRA结构通过递归地把所以分辨率级别的小波变换都折叠到一套硬件里，得到了较高的硬件利用率。此外，为了改善性能，提高硬件资源和速度以及降低耗电量，还研究了翻转结构的6个系数的量化方法。这样，提出的这种结构与一些文献上的方法相比，更简单，更规则，更容易扩展。  
(3) 对最近几年来静止图像压缩领域的算法进行分析研究，重点分析了基于小波变换的一系列嵌入式静止图像压缩算法，如EZW、SPIHT、EBCOT。并在EBCOT算法的基础上，介绍了改进的EBCOT图像编码算法，该算法进一步提高了图像编码效率。  
(4) 为了在较高的压缩比上获得很好的压缩性能，提出了一种基于小波变换和支持向量机(SVM)的图像压缩方法。压缩过程分三个步骤：首先对图像进行四级提升小波变换，这里采用提升格式是因为它比采用传统的Mallat算法的计算速度快；其次对变换后的小波系数用SPIHT的继承树进行重新排序；然后用回归支持向量机提取支持向量；最后对压缩后的数据进行算术编码。图像的解压缩过程是上面4个步骤的逆过程。实验结果表明，所提出的方法与常用的JPEG2000相比，当压缩比较高时有很好的性能。  
(5) 为了实现DPCM格式的渐进图像传输，提出了一种基于DPCM的从有损到无损的渐进图像压缩和编码格式。这一方法分为两个阶段。第一个阶段是使用传统的DPCM算法得到低分辨率的近似图像。其中在DPCM预测时提出了一种基于马尔可夫模型的自适应预测方法。第二个阶段是对量化误差的渐进传输阶段，它使得上一阶段得到的低分辨率图像被渐进地完善。即首先对量化误差实施小波变换，然后根据量化误差的局部频率特性，用简单的规则把小波变换后的系数进行分组，最后使得渐进图像传输成为可能。本文第七章的实验证明了上述观点。实验结果表明，由于使用了马尔可夫模型和小波变换，可以更快地得到细节丰富的图像。
2. 会议论文 [姜恩华](#), [韩朝军](#), [王利娟](#), [王璞](#) [小波变换在JPEG2000图像编码中的应用分析](#) 2003  
随着多媒体技术的发展,对图像压缩技术的要求也越来越高,于是, JPEG标准委员会推出了新一代静止图像压缩标准: JPEG2000,它是基于小波变换的图像压缩标准. 本文首先论述了小波变换的思想和Mallat算法, 然后对JPEG2000的图像压缩编码过程及其核心编码算法EBCOT作了详细的分析.
3. 学位论文 [许亚美](#) [基于小波理论的图像压缩研究与实现](#) 2007  
图像的数据是非常巨大的, 这使得图像压缩成为必然. 图像压缩中的关键技术包括对图像数据的变换、对变换数据的量化、以及对量化后数据的熵编码. 近年来随着小波分析理论的发展, 提出了小波图像编码, 这种图像编码方法具有很好的发展前景.  
本文主要研究了基于小波理论的图像压缩算法. 首先, 介绍了静态图像编码的原理、方法及实现, 介绍并讨论了基于小波分析的图像编码方法, 以及几种著名的小波图像编码方法. 其次, 详细阐述了基于零树思想的小波变换图像压缩算法, 对嵌入零树小波编码做出了深入的研究, 并提出了几点相应改进, 仿真实验证明了改进的有效性. 然后, 在上述改进的基础上, 根据零树编码系数的分布特点, 提出了一种新的基于改进零树小波和编码变换的图像编码算法. 仿真实验证明了新算法的高效性. 新算法与传统的嵌入零树小波编码算法相比, 重构图像质量高, 速度快, 取得了令人满意的效果.  
嵌入式系统是以应用为中心的专用计算机系统. 其以计算机技术为基础, 软硬件是可剪裁的. 近十几年来, 嵌入式系统的发展异常迅速, 其应用也越来越广泛. 在网络技术的蓬勃发展下, 结合网络通信技术的嵌入式系统必将成为今后人们研究的重点和热点.  
因此, 在目前嵌入式系统相当流行的背景下, 本文以基于嵌入式处理器ARM架构的图像处理专用芯片Clarity4为核心, 设计开发出了一套嵌入式硬件开发平台. 通过移植Necleus PLUS操作系统, 载入标准图像处理软件, 给出了一套完整的图像压缩嵌入式系统实现.
4. 会议论文 [刘忠元](#), [傅志中](#) [一种改进的零树小波图像编码算法](#) 2008  
小波变换具有良好的空间-频率局部化特性, 给图像编码算法提供了广阔的发展空间. 基于小波变换的图像编码是一种有效的图像压缩方法. 针对零树小波编码方法存在的缺点, 提出了一种改进的编码算法, 理论分析和仿真实验表明, 该方法能够降低重构图像的均方误差、提高重构图像的峰值信噪比.
5. 学位论文 [周海霞](#) [小波变换在静态图像压缩中的应用](#) 2008  
图像压缩是图像处理技术中的关键技术之一, 当前已经有多种图像压缩方法, 但是如何找到更好的压缩方法来取得更好的压缩效果还是一个重要的研究领域. 小波变换的图像压缩方法就是其中的一个研究热点.



本文首先简要介绍了图像压缩的基础知识、分类方法和评价标准。从数学分析的角度研究了小波变换的理论,包括连续小波变换、离散小波变换、多分辨率分析、Mallat、双正交小波变换。通过分析小波变换后的图像数据的系数分布特点和灰度直方图,得出小波变换有利于图像压缩的重要依据:小波变换后大部分的图像数据和能量集中在低频系数上,大部分高频系数分布在零附近,且灰度直方图都相似,可以进行同一阈值处理。探讨了进行小波变换时要考虑的几个重要因素,如小波基的选择、滤波器的长度、分解层数的设置、边界问题的处理,并通过实验数据研究了每个因素对压缩效果的影响情况。

对图像进行小波变换时,如何为具体的图像选择一个合适的小波基仍然是一个急需解决的问题。目前已经有了很多具有各种性质的小波。本文中分析了小波的正交性、消失矩、紧支性、对称性等性质对压缩效果的影响,从这些性质出发,采用Lagrange半带滤波器设计方法,构造出完全重构双正交滤波器。将得到的小波函数,采用波形匹配的系数相关原则,求出与给定图像相匹配的匹配小波,使图像在该小波的某些投影子空间系数最大化,取得更好的压缩效果。将得到的滤波器用于各种类型的图像进行压缩,仿真结果证明,利用本文中构造出来的滤波器得到更好的压缩效果。

回顾了小波图像编码的研究现状,结合不断发展的新的嵌入式小波图像编码的方法,分析了嵌入式小波零树编码和多级树分割编码算法的原理和实现过程,并对这两种算法进行了编程实现和压缩效果比较。

6. 期刊论文 [张立保,余先川, ZHANG Li-bao, YU Xian-chuan 基于整数小波变换与双阈值交替的遥感图像压缩 - 光电子·激光](#)2006, 17 (10)

提出一种基于双阈值交替的遥感图像编码(DTAC)算法。根据整数小波变换(IWT)分解后不同阈值上的重要系数分布状况,对重要系数相对集中的区间用整数平方代替2的整数幂(IPT)作为量化阈值。在其他阈值区间中仍使用IPT,然后对每个阈值平面上的重要系数采用统一的编码策略。实验表明,新算法具有较低编码复杂度,不仅支持单一码流下从有损到无损的遥感图像编码,而且峰值信噪比(PSNR)高于采用IWT的SPECK编码算法。

7. 学位论文 [王柯俨 干涉多光谱图像编码技术研究](#) 2008

卫星干涉多光谱技术是目前遥感领域内最新发展的成像光谱技术,能够获得丰富的被测目标的空间和光谱信息,可定性、定量地对被测对象进行物理分析和识别,在地质勘探、环境检测、深空探测、军事侦察等许多方面具有重要的应用价值。由于干涉多光谱图像庞大的数据量对有限的传输信道造成了很大压力,因此研究具有高性能、低复杂度、低存储量的实时干涉多光谱图像压缩编码方法成为当前卫星干涉多光谱技术的迫切需要和关键技术。

论文首先对干涉多光谱图像的成像原理和图像特性进行了分析,针对干涉多光谱图像应用需求,从两个角度对干涉多光谱图像压缩编码技术作了深入研究:一是从量化编码的角度,研究有效保持恢复图像光谱和空间信息的高效量化编码方法;二是从变换的角度,研究针对干涉多光谱图像的变换方法,以克服现有变换方法的不足,从而提高压缩性能。最后针对航天应用,研制了应用于探月卫星的干涉多光谱图像压缩方法及系统。本文主要的研究成果如下:

1. 提出了一种基于分类阈值率失真优化截取的部分SPIHT(PartialSPIHT)编码算法。该算法采用部分SPIHT方法对所有空间生成树进行独立编码,并将干涉多光谱图像分为两类干涉区域,通过分析编码重建误差与恢复光谱失真之间的关系,分类加权提升不同干涉区域空间生成树的率失真斜率,不仅改善了压缩效果,而且减少了光谱信息失真。在此基础上,针对航天应用需求,通过对完整率失真优化截取效率的分析,提出一种基于自适应编码深度控制的优化算法,该算法引入编码深度控制机制,自适应地控制每棵空间生成树的编码深度,有效地减少了编码器的计算量和存储量,提高了编码效率,易于星载硬件实现。

2. 提出了一种基于经验数据分解的干涉多光谱图像压缩算法,并设计了针对干涉多光谱图像的二维分解结构。该算法利用提出的经验数据分解方法去除图像相关性,然后对分解系数采用改进的EBCOT算法进行编码,适用于非平稳数据的压缩。实验结果表明,与JPEG2000标准相比,该算法在有损和无损压缩下均能获得更好的压缩性能,且有效地保护了光谱信息。

3. 提出了一种自适应分类曲线拟合的干涉多光谱图像压缩算法。利用均方差准则将干涉多光谱图像自适应地分为两类干涉区域,并对各类干涉区域分别构造不同的拟合函数,然后采用不同的拟合方法对其进行曲线拟合。该算法兼容有损和无损压缩。与现有压缩方法相比,该算法充分利用了干涉多光谱图像的成像特性和相关性特性,克服了小波变换的缺陷,较大地提高了压缩效率,同时显著降低了光谱失真。

4. 提出了一种空间维独立的无损及近无损光谱图像压缩算法,并成功应用于我国“嫦娥一号”探月卫星的光谱图像压缩系统中,具有复杂度低、恢复图像质量高和抗误码性能好等优点。

8. 期刊论文 [邵晨 一种基于EZW图像编码的改进算法 - 电子元件应用](#)2008, 10 (7)

小波变换具有良好的局部特性和空间一频率特性。同时具有描述非平稳图像信号的能力和适应人眼视觉特性的良好性能,故在较高压缩比的图像编码领域中得到广泛研究和应用。嵌入式零树小波(EZW)编码算法是基于小波变换的一种图像压缩方法。文章在研究了EZW算法及原理的基础上,提出了针对该算法的一种改进算法,并通过仿真试验对改进方法的性能进行了验证。

9. 学位论文 [张媛 嵌入式小波图像编码算法的研究](#) 2007

随着现代通信技术的发展,要求传输的图像信息的种类和数据量越来越大,数字图像压缩的作用及其社会效益、经济效益也就越来越明显。本文就是针对数字图像的压缩编码算法而进行的研究、分析与改进。虽然小波变换图像编码的研究已经取得了卓著成果,但仍有许多问题需要解决。如何充分利用小波系数的特性进行高性能的编码;如何在保持良好率失真特性的同时降低硬件实现的复杂度和减少运算存储资源,本文对这些问题进行了研究,并提出了有效的解决方案。因此,本论文的研究不仅具有理论意义而且具有重要的实用价值。

本文共分五个部分:首先,阐述了研究背景、意义以及在这一领域的发展现状。然后,介绍了图像编码的主要方法和静止图像编码标准。随后,介绍了小波变换的基本原理及一些经典的小波图像编码方法。接下来的第四章,对目前最为先进的基于小波变换的嵌入式图像压缩算法之一的SPECK算法进行了改进并将其实现。改进后的算法不仅继承了原有SPECK算法的各种优点,而且通过调整整合编码顺序等处理,进一步降低了原始SPECK算法的复杂程度,提高了算法的工作效率,最后对实验数据进行了结果分析。在最后一章中,本文针对一种不使用链表、易于硬件实现的基于小波变换的嵌入式图像压缩算法——LZC算法,进行了改进并将其实现。改进后的算法不仅继承了原有LZC算法的各种优点,而且通过改变空间子带的编码顺序等措施,进一步降低了LZC算法的复杂度,提高了原算法的工作效率。最后对实验数据进行了结果分析。实验结果表明,本文的改进算法不仅具有良好的视觉效果、无方块效应,而且在相同压缩比情况下,本文两种算法的图像重构质量和PSNR均稍好于原始的两种压缩算法,能够应用于较多的图像压缩领域。

10. 期刊论文 [王晶,王华军,杨向文 神经网络图像编码的几种方法 - 科技经济市场](#)2006, "" (12)

近年来,随着神经网络研究的日益发展,开辟了图像压缩方面的新途径。本文简要地介绍了用与图像编码的几种神经网络模型的理论、原理。

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_bjhkhtdxxb200612012.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_bjhkhtdxxb200612012.aspx)

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 3f1802bd-9f10-4fb8-8ce3-9df201088399

下载时间: 2010年9月15日