

# 空间太阳望远镜 FPGA 星载图像压缩模块的设计与实现

马瑞敏<sup>1</sup>, 王景宇<sup>1</sup>, 王国权<sup>2</sup>

(1. 中国科学院国家天文台空间技术实验室, 北京 100012;

2. 黑龙江科技学院计算机与信息工程学院, 哈尔滨 150027)

**摘 要:** 应用(5,3)整数小波变换和稀疏矩阵的游程编码方法,为空间太阳望远镜卫星(SST)中的图像压缩单元(DCU)构建了一种高效高速的 FPGA 运算模块,使 DCU 压缩  $2048 \times 1024$  大小太阳图像的时间由原先中德联合设计的 32 秒减为 0.23 秒,压缩速度提高了两个数量级,各项技术指标均满足 SST 科学任务需求,为今后扩展功能及航天高精度遥感技术发展提供了宝贵的经验和技術储备。

**关键词:** SST; 图像压缩; 小波变换; 稀疏矩阵; RLE; FPGA

**中图分类号:** V447; V443

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-1328(2008)04-1345-05

## 0 引言

空间太阳望远镜(Space Solar Telescope,简称 SST)<sup>[1]</sup>是一颗大型天文观测卫星,它将以 0.1 角秒的高分辨率对太阳活动区磁场进行精细观测。SST 卫星的成功研发不但对太阳物理具有突破性的科学意义,而且对我国航天遥测遥感技术发展具有重要影响。SST 卫星装载 5 个有效载荷,共具有 15 个  $2048 \times 2048/2048 \times 1024$  位 CCD 相机,它们高空间、高时间分辨率地采集来自太阳的信息,每日产生 1750GB 天文观测数据,然而由于卫星通信能力的限制,下传的数据总量只能达 8GB。为此星载图像数据压缩模块(Data Compression Unit,DCU)的设计与实现成为 SST 在轨数据处理的关键技术之一。随着天文事业的发展,国家天文台天文学家们又提出了亚秒时间量级图像采集处理和卫星在轨实时压缩的需求,这将使星上实时数据处理、压缩量成倍增加,也对高速 DCU 的研究提出了更高更新的要求。

由于空间辐射环境的限制,完成 SST 数据处理的航天芯片工作频率被约束在 20MHz,这大大限制了 SST 图像压缩的速度。已有的国外星上数据压缩方案都无法同时满足 SST 对时间、压缩比和信噪比的要求。在 1997 - 2003 年中国科学院与德国马普

学会、不来梅应用物理大学的合作设计中,拟采用 TSCA21020DSP 和 JPEG 标准来实现图像压缩<sup>[1,2]</sup>,压缩速度为 2M 位/32 秒。这种方法需要 SST 卫星的每个 CCD 通道由 4 个压缩处理器并行工作,大大增加了系统复杂度和系统的重量、体积及功耗。此外,国内航天图像压缩领域尚属起步阶段,星上实时数据处理、压缩都较为简单。在这种技术背景下,我们只能走创新的道路,设计适应 SST 科学需求的合适的算法和模块以实现 SST 卫星海量图像信息的在轨实时压缩。

基于提升格式(Lifting Scheme)<sup>[3]</sup>的(5,3)<sup>[4]</sup>整数-整数二维小波图像变换与稀疏矩阵结合游程编码的压缩算法,以及将算法固化在 FPGA 结构中的新方法,可高速、高效和高可靠性地实现 SST 星载实时图像压缩的需求。

本文将在第 1 节给出 SST 卫星对 DCU 的需求,第 2 节介绍并分析(5,3)小波算法和稀疏矩阵编码,第 3 节描述具体的模块结构设计,第 4 节详细讨论实验结果,最后在第 5 节给出全文总结。

## 1 需求分析

SST 卫星五个科学仪器每天采集到的 1750GB 图像在各自的预处理单元(IMFU)经过辐射校正、几

何校正、图像积分、偏振计算等一系列的预处理以后,数据量缩减为原先的 1/40,再进入各自的 DCU 进行 5 倍变换编码压缩,将下行数据量减为 8GB。经 DCU 实时处理后的数据在存储单元(DSU)中暂存,卫星过顶时,由下传系统(DLS)送到地面。管控机(CEU)统一控制和协调各子单元的工作和时序。根据太阳活动状态,SST 卫星各载荷仪器按需求分为三种观测模式:爆发模式、活动区模式、宁静模式,分别以不同时间为周期采集,每个数据通道的预处理单元生成 4 幅  $2048 \times 1024 \times 16\text{bits}$  的向量 Stokes 磁图,按最高采集速度 4 图/30 秒计算,DCU 对每幅图的压缩与传输总时间至少要小于 6 秒,图像压缩信噪比大于 26dB。图 1 是中德合作报告<sup>[2]</sup>中星载科学数据处理系统(Science Data Processing Unit,SD-PU)的总体结构。

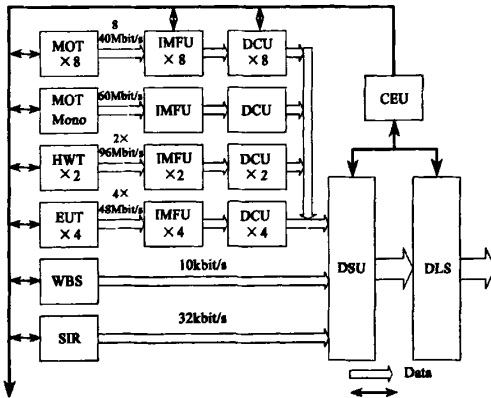


图 1 中德合作报告中 SDPU 系统结构框图

Fig.1 Block diagram of SDPU system in sino-german report

2 算法分析

基于一般正交编码(如 JPEG 标准中的 DCT 方法)的图像压缩依靠去掉全图像能量低的高频成分,以牺牲观测仪器分辨率为代价。而小波分析<sup>[5]</sup>对高频成分进行由粗到细渐进的时空域上的正交分解,能像显微镜一样处理任意局部特征,实现局域图像高分辨率重构。本文选择可逆整数(5,3)双正交小波变换算法,其所具有的对称性使图像边界经过延拓处理后变换失真最小。此外,它可方便地加载到 FPGA 门阵列中,实现算法固化。

JPEG2000, EZW<sup>[6]</sup> 和 SPIHT<sup>[7]</sup> 等编码算法压缩性能好,但运算复杂,消耗时间多,不利于快速计算,如

使用改进的 JPEG2000 算法压缩一幅天文图像仍需耗时约 14.57 秒<sup>[8]</sup>。因此我们采用基于天文数据处理的稀疏矩阵压缩算法,它的本质是保留高权重小波系数作为重构图像的基础,与其他编码方法相比,在满足 SST 对图像压缩信噪比需求的同时,可以大量减少反复访问存储器的时间。小波变换与稀疏矩阵编码算法在 SST 原理样机的 DSP 上运行耗时约 5.53 秒<sup>[9]</sup>,证明了其可行性。为了进一步提高压缩速度,我们使用 FPGA 来实现全部算法。

基于 Lifting Scheme 的小波变换通过将原始信号序列分裂为偶、奇两部分,然后执行预测和更新的步骤,使小波滤波器的多项形式分解为简单矩阵的乘积。用它替代传统的卷积运算,可大大减少实现离散小波变换(DWT)时的计算量。

(5,3)整数小波的提升格式如下:

$$d_{j,l} = s_{j+1,2l+1} - \left[ \frac{s_{j+1,2l} + s_{j+1,2l+2}}{2} \right]$$
$$s_{j,l} = s_{j+1,2l} + \left[ \frac{d_{j,l} + d_{j,l-1}}{4} \right]$$

用于图像编码时,二维小波变换在图像的水平 and 竖直方向上相继进行多分辨率分解,行、列变换可分离。图 2 是用标准法对图像进行四级小波分解。原始图像在分别经过行、列方向的低、高通滤波后,可得到不同尺度上的概貌和细节信息。标准分解的计算代价虽然相对高一些,但其重建质量比常见的金字塔分解要有所改进。

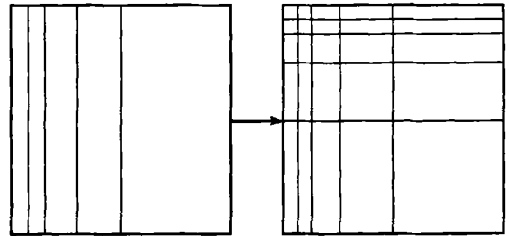


图 2 标准小波分解

Fig.2 Standard wavelet decomposition

稀疏矩阵编码记录变换后的高权重小波系数和其在图像阵列中的位置。该算法依不同图像压缩所需要的压缩比选择不同的阈值,将小波系数中小于阈值的置零,大于阈值的保留。根据硬件特点采用游程编码的方法,分别将非零系数与游程“长度”存储为两个一维数组,以取代原图像数据的存储量,这样在解压缩时只需依序在非零系数之间按相应的游程“长

度”插入‘0’就可重构小波变换后系数的稀疏矩阵。

3 结构设计与实现

3.1 硬件平台架构

由本实验室研制的硬件平台结构框图见图 3。它的核心是 FPGA, 选定为 Xilinx 公司的 XC2V 1000 芯片, 在其上实现整个变换压缩运算; 同时配备航天级抗辐照芯片 ADSP21060 完成算法关键参数变更和运算管理控制及通讯; 配备 SRAM 与一些外围辅助电路进行中间数据缓存和作为图像输入输出接口。输入图像切分为  $2 \times 1024 \times 1024$  大小, 工作频率按航天可靠性标准取 20MHz。

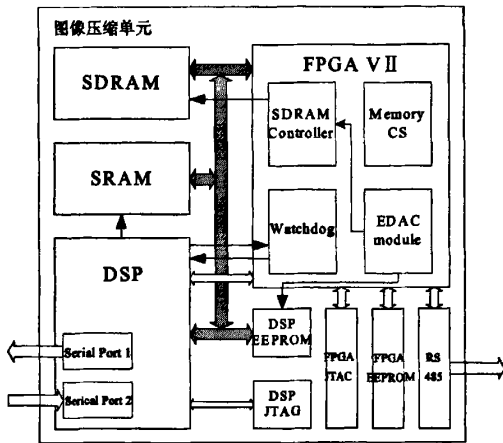


图 3 DCU 结构框图

Fig.3 The frame diagram of DCU

3.2 算法整体模块设计

已有文献对二维小波变换的硬件实现做了讨论研究<sup>[10-12]</sup>, 它们存在各种时序复杂、速度较慢或资源利用率小, 及不易于与其后压缩编码有效衔接的问题, 不能适应 SST 卫星图像压缩的实际需求。我们在 DCU 的设计中, 使用两行并行、两列部分并行处理的结构, 结合流水方式, 各级分解产生的中间结果无需存储; 同时直接利用变换单元中的极少量 FPGA 内部 RAM 资源, 将压缩单元与小波变换单元进行逻辑融合, 打破先整体变换完再进行编码的模式, 避免了重复读写外部 SRAM, 大大提高了速度, 并充分节省了硬件资源。

整个压缩模块由两个具有相同结构的一维离散小波变换 (1D - DWT) 单元、稀疏矩阵单元 (SPARSE)、游程编码单元 (RLE)、内部存储单元和控

制单元组成实现。采取并行处理的方法, 即在两个 1D - DWT 单元中同时进行水平方向的小波运算。1D - DWT 单元内部的四级分解以流水线的方式实现, 只需贮存两行变换得到的最终小波系数。为防止计算时因溢出而丢失数据位, 根据需要对各级结果进行位数扩展。整体行变换完成后开始列变换, 处理过程类似。

列变换得到的小波系数通过 SPARSE 单元进行阈值筛选, 将小于阈值的系数置为零后, 保持原先的顺序不变依次存储在内部 RAM 中。RLE 单元计算每两个非零元素之间零的个数, 并输出压缩结果数据。

控制单元遵照严格的时序要求对整个处理过程进行协调控制, 包括发送外部确认信号、计算内部 RAM 读/写地址等。图 4 是 DCU 的系统总体模块结构, 并标示出了列变换及压缩过程的数据流向。

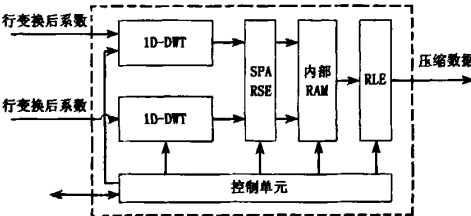


图 4 DCU 内部模块结构框图

Fig.4 The proposed architecture of DCU

3.3 一维离散小波变换单元

在 1D - DWT 单元内部, 输入图像数据以流水线的方式进行逐层变换, 流水线按变换分解层数分级。各级变换的内部结构基本相同。以图像像素为初始系数, 前三级变换得到的高频系数顺序存储到内部 RAM 中, 低频系数作为输入开始进行下一级变换。同一序列的两个相邻数据必分别属于偶、奇集合, 因此对于第一级变换, 只需加上适当的触发器, 实现各低频、高频系数或系数和在进入加减运算单元前的同步, 就可顺利完成预测和更新的过程, 在每一个时钟 (clk1) 的上升沿输出一个低频系数 ( $s_{1,i}$ ) 和一个高频系数 ( $d_{1,i}$ )。接着在一、二级变换之间插入一个串并转换模块, 通过一个数据选择单元, 将数据流  $s_{1,i}$  拆分成两组并行数据流  $s_{1,2i}$  和  $s_{1,2i+1}$ , 解决连续低频系数的偶、奇分解问题。后两级变换也做类似处理。相应串并转换模块的触发时钟的频率依次减半, 从而数据吞吐能力逐级降低一倍。第四级的变换结果  $s_{4,i}$

和  $d_{4,l}$  全部存入内部 RAM 中。图 5 忽略处理列变换结果的 SPARSE 单元和 RLE 单元。

### 3.4 稀疏矩阵压缩编码

稀疏矩阵编码过程分为两个步骤:将小波变换后大量小于给定阈值的系数置零,并保留大于阈值的系数;计算相邻两个重要权系数(非零元素)之间“0”的个数以表示游程“长度”,与非零元素一起作为编码结

果存入外部 SRAM 的不同空间。这两个步骤分别由 SPARSE 单元和 RLE 单元完成。SPARSE 单元是一个简单的组合逻辑,无须单独耗费时钟。以两列为单位,从第一列开始小波变换结果系数依次在其中与阈值进行比较,变为稀疏阵后存入内部 RAM。RLE 单元从 RAM 中取数后过滤出非零元素,并设寄存器 R1 与 R2,用于累加稀疏阵中连续“0”的个数。

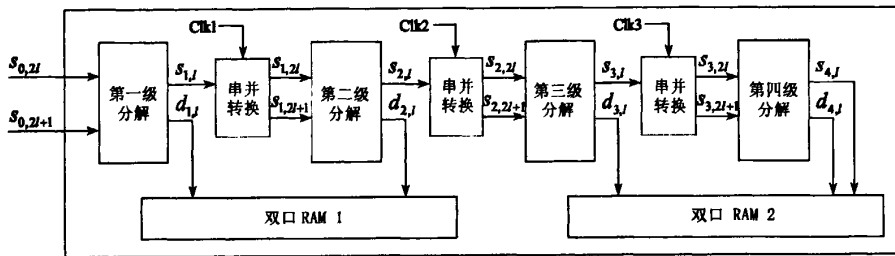


图 5 1D-DWT 模块内部结构图

Fig.5 The proposed architecture of 1D-DWT

## 4 FPGA 模块测试与结果分析

在成功完成 FPGA 图像压缩模块的设计和研发后,我们利用 PC 机开发环境对模块进行测试。PC 机通过 USB-ICE 仿真器(DSP 仿真器)和 FPGA 下载电缆向 DCU 目标板加载程序并发送图像;随后目标板中 FPGA 进行算法运算,完成压缩过程;结果数据再由目标板中的 DSP 送回 PC 机等待验证评估。FPGA 图像压缩模块联机调试的连接图如图 6 所示。

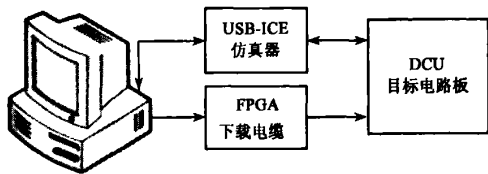


图 6 DCU 联机调试示意图

Fig.6 Online debugging strategy of DCU

针对 SST 卫星科学目标,我们选用一系列 2048 × 1024 大小的不同工作模式下的太阳图像作为检测图像。DCU 对这些图像进行 5 倍压缩,耗时均约为 230 毫秒,信噪比均大于 26dB,达到了 SST 卫星要求的各项技术指标。图 7 是其中三幅太阳米粒组织、磁场活动区和全日面的原始图像与解压缩后恢复的部分图像,压缩时间和效果见表 1。FPGA 模块压缩方法与以往的设计方法相比,在同样图像相同

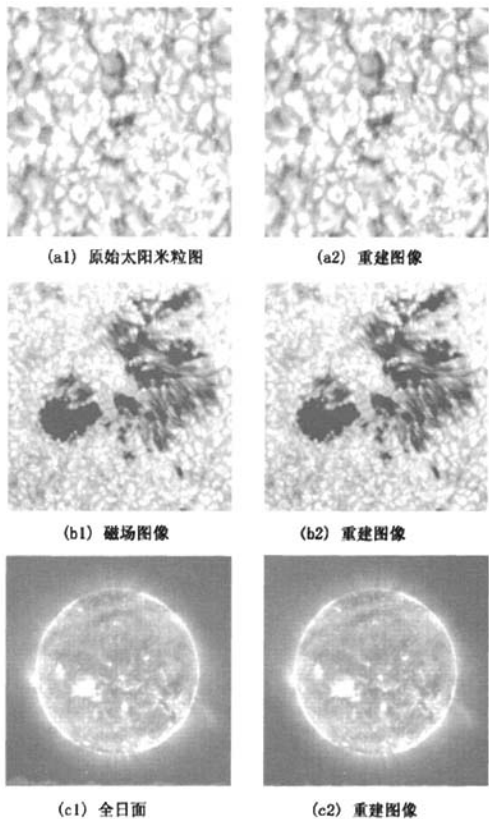


图 7 DCU 图像压缩效果

Fig.7 Effect of DCU image compression

压缩比和压缩信噪比条件下具有明显的速度优势,见表 2(表 1、表 2 都以 DSP 航天应用的 20MHZ 时钟为标准),而且每个 CCD 通道只需一个压缩模块,比中德合作设计节省了 4 倍资源。

表 1 压缩测试结果

Table 1 Test results of image compression

	时间(ms)	压缩比 CR	信噪比 SNR(dB)	峰值信噪比 PSNR(dB)
米粒组织图	228	5	28.81	32.94
磁场图	226	5	39.76	80.73
全日面	219	5	33.20	40.16

表 2 压缩方法与时间对比

Table 2 Contrast of different methods and time required during compression

	中德合作设计 /JPEG2000 方法	DCU 软件 方法	FPGA 模块 方法
算法	JPEG/改进 JPEG2000	Daub4	(5,3)整数小波
时间	32s/14.57s	5.53s	230ms
结构	DSP 做算法 FPGA 作辅助	DSP 做算法 FPGA 作辅助	FPGA 做算法 DSP 作辅助
应用	离线	在线	在线

综上所述,FPGA 图像压缩模块达到了 SST 卫星科学任务需求,并为天文学家梦想的亚秒时间量级图像处理和压缩提供了技术基础,而且小波的分层性质和局域重构性质,可以在有损、无损和信噪比与压缩比上的灵活权衡和选择,FPGA 模块的可重构性、冗余性和高可靠性也具有广泛的空间应用前景。

5 结论

本文应用(5,3)小波对图像作正交分解,结合稀疏矩阵与游程编码算法,设计和研发了高效的 FPGA 图像压缩模块,使 SST 卫星在轨图像压缩时间得到了量级的缩短。基于此实现的空间高速图像压缩模块,不仅满足了 SST 卫星实时数据处理的任务需求,而且具有软件压缩无法比拟的运算速度,为 SST 卫星的星载处理和功能扩展及航天应用提供了可靠的保证,同时为我国其它卫星的高速数据处理和图像压缩技术发展提供了宝贵的经验。

参考文献:

[1] Brungs W, Schmidt W. Space Solar Telescope Research and Evaluate

Report[R]. Beijing: China Academy of Science, 1997.

[2] Space Solar Telescope Design Specification[R],SST,2003.

[3] Sweldens W. The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets[J]. Appl. Comput. Harmonic Analysis, 1996,3(2):186-200.

[4] Cohen A, Daubechies I, Feauveau J. Biorthogonal bases of compactly supported wavelets[J]. Communications on Pure and Applied Math,1992,45:485-560.

[5] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京:科学出版社,1999. [PENG Yu-hua. Wavelet Transform and Engineering Application [M]. Beijing: Science Press,1999(in Chinese).]

[6] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41 (12):3445-3462.

[7] Said A, Pearlman W A. A New, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243-249.

[8] 谢华.应用于 SST 的基于 JPEG2000 的图像压缩技术研究[D]. 北京:北京大学物理学院天文系,2006. [XIE Hua. JPEG2000 based image compression applied for SST[D]. Beijing: Astronomy Department, Peking University, 2006(in Chinese).]

[9] 贾志宏,耿立红,孙才红,金声震. SST 星载 CCD 图像压缩单元的研究[J]. 光电子·激光, 2007, 18(3): 285-288. [JIA Zhi-hong, GENG Li-hong, SUN Cai-hong. Compression technique for onboard CCD image of space solar telescope[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2007, 18(3): 285-288(in Chinese).]

[10] Wu Po-cheng, Chen Liang-gee. An efficient architecture for two-dimensional discrete wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(4):536-545.

[11] Kishore Andra, Chaitali Chakrabarti. A VLSI architecture for lifting-based forward and inverse wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(4):966-977.

[12] DILLEN G,GEORIS B,LEGAT J D,et al. Combined line-based architecture for the 5-3 and 9-7 wavelet transform of JPEG2000[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(9):944-950.



作者简介:马瑞敏(1980-),女,中国科学院国家天文台博士研究生,主要从事空间电子技术与图像处理方面的研究。

通信地址:北京市朝阳区大屯路甲 20 号国家天文台 SST 实验室(100012)

电话:(010)64853927-8309

E-mail:rmidy@163.com

- ference on Communications '93, 1993, 2(2): 1064 - 1070.
- [2] Tanner R M. A recursive approach to low complexity codes[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1981, 27(5): 533 - 547.
- [3] Wiberg N. Codes and decoding on general graphs[D]. Ph.D. dissertation, Linköping Univ., Linköping, Sweden, 1996.
- [4] Wiberg N, Loeliger H A, Kötter R. Codes and iterative decoding on general graphs[J]. European Transactions on Telecommunications, 1995, 6(4): 513 - 525.
- [5] Kschischang F R, Frey B J and Loeliger H L. Factor graphs and the sum-product algorithm[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, 47(2): 498 - 519.
- [6] Keith M, Chugg, Mingrui Zhu. A new approach to rapid PN code ac-

quisition using iterative message passing techniques[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(1): 884 - 897.



作者简介: 王伟(1979-), 男, 博士后, 讲师, 主要研究方向为无线电导航及卫星定位技术, 通信抗干扰技术。  
通信地址: 哈尔滨工程大学自动化学院 407 教研室(150001)  
电话: (0451)82519376 转 606  
E-mail: chinaww2006@yahoo.com.cn

## Research on Rapid PN Code Acquisition Using Iterative Message-passing Algorithm

WANG Wei<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>2</sup>, LI Xin<sup>2</sup>

(1. Robotics Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China;

2. Automation College, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** In spread spectrum system, quickly achieving long period PN codes is crucial when signal-to-noise ratio (SNR) is low. To solve the problem, we propose a new method of PN code acquisition using Iterative Message-passing Algorithm and give the principle and realization of this method. The probability of acquisition and the average acquisition time are discussed in detail. This algorithm is fulfilled by software and the complication is reduced. The results of simulation show that this method can make the acquisition time greatly decreased and the performance of acquisition improved, when the SNR is low.

**Key words:** PN code acquisition; Probability of acquisition; Factor graphs; IMPA

(上接第 1349 页)

## The Development and Implementation of FPGA Compressed Module for Onboard Images of Space Solar Telescope

MA Rui-min<sup>1</sup>, WANG Jing-yu<sup>1</sup>, WANG Guo-quan<sup>2</sup>

(1. National Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

2. Computer & Information Engineering school, Heilongjiang Institute of Science and Technology, Harbin 150027, China)

**Abstract:** Basing on the theory of Wavelet Transform as well as the method of sparse matrix realized using RLE coding, some module with high efficiency and velocity was constructed, which has quickened the time of compressing the images of sun with resolution 2048x1024 from 32 seconds (designed by Sino-German group) to 0.23 second - 100 times of improvement. The technical index of this technique all fulfill the requirements of SST, at the same time, it provides valuable experience and technology for future function expanding and application of space high-precision remote measurements.

**Key words:** SST; Image compression; Wavelet transformation; Sparse matrix; RLE; FPGA

作者: 马瑞敏, 王景宇, 王国权  
作者单位: 马瑞敏, 王景宇(中国科学院国家天文台空间技术实验室, 北京, 100012), 王国权(黑龙江科技学院计算机与信息工程学院, 哈尔滨, 150027)  
刊名: 宇航学报 **ISTIC PKU**  
英文刊名: JOURNAL OF ASTRONAUTICS  
年, 卷(期): 2008, 29(4)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(12条)

1. Brungs W, Schmidt W. Space Solar Telescope Research and Evaluate Report[R]. Beijing: China Academy of Science, 1997.
2. Space Solar Telescope Design Specification[R], SST, 2003.
3. Sweldens W. The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets[J]. Appl. Comput. Harmonic Analysis, 1996, 3(2): 186-200.
4. Cohen A, Daubechies I, Feauveau J. Biorthogonal bases of compactly support wavelets[J]. Communications on Pure and Applied Math, 1992, 45: 485-560.
5. 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999. [PENG Yu-hua. Wavelet Transform and Engineering Application[M]. Beijing: Science Press, 1999(in Chinese).]
6. Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Singnal Processing, 1993, 41(12): 3445-3462.
7. Said A, Pesrlman W A. A New, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systemss for Video Technology, 1996, 6(3): 243-249.
8. 谢华. 应用于SST的基于JPEG2000的图像压缩技术研究[D]. 北京: 北京大学物理学院天文系, 2006. [XIE Hua. IPEG2000 based image compression applied for SST[D]. Beijing: Astronomy Department, Peking University, 2006(in Chinese).]
9. 贾志宏, 耿立红, 孙才红, 金声震. SST星载CCD图像压缩单元的研究[J]. 光电子·激光, 2007, 18(3): 285-288. [JIA Zhi-hong, GENG Li-hong, SUN Cai-hong. Compression technique for onboard CCD image of space solar telescope[J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2007, 18(3): 285-288(in Chinese).]
10. Wu Po-cheng, Chenn Liang-gee. An efficient architecture for two-dimensional discrete wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(4): 536-545.
11. Kishore Andra, Clutitali Chakrabarti. A VLSI architecture for lifting based forward and inverse wavelet transform[J]. IEEE Trnsactions on Signal Processing, 2002, 50(4): 966-977.
12. DILLEN G, GIEORIS B, LEGAT J D, et al. Combined linear-based architecture for the 5-3 and 9-7 wavelet transform of JPEG2000[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(9): 944-950.

## 相似文献(9条)

1. 期刊论文 马瑞敏, 金声震, MA Rui-min, JIN Sheng-zhen 基于LEON2和FPGA的在轨图像小波变换模块设计 - 光电子·激光 2008, 19(12)  
利用Leon2处理器核和具有丰富内部资源的FPGA芯片, 为空间太阳望远镜(SST)图像压缩单元成功设计了高性能的基于纯硬件架构的(5, 3)整数-整数二维小波变换模块. 该模块对2048×1024×2B的太阳图像进行变换耗时约为0.2 s, 比欧空局(ESA)的DSP软件方法提高了数十倍运算速度, 不仅满足SST卫星在

轨图像压缩的任务指标,而且在结构上也易于与其后的多种编码处理灵活衔接,同时还具有体积小、功耗低、容错性好、通用性强等特点,可以广泛应用于多种航天图像压缩领域。

2. 学位论文 [谢华](#) [应用于SST的基于JPEG2000的图像压缩技术研究](#) 2006

本文对应用于SST的基于JPEG2000的图像压缩技术进行了研究。文章在对SST的观测数据以及压缩单元方案进行分析之后,给出了具体的压缩任务指标。针对指标,对JPEG2000做了可行性分析,给出其各方面性能表现。由于SST数据量和JPEG2000计算量都很大,讨论了几种加速可能性,确定了多处理器并行的软件实现方案。为了减少并行处理器的个数,着眼于JPEG2000算法的修改和简化。

在分析了时间瓶颈后,文章对JPEG2000最消耗时间的Tier1编码提出了修改策略,改变了编码顺序,改变了率控制方法,并在德国布伦瑞克技术大学计算机通信工程研究所的“VenusExpress”监测相机DPU平台上和SST的SDPU仿真平台上分别完成了仿真试验。修改后的算法大大简化了编码策略,根据不同的压缩比,在运算量上有不同程度的节约,运算速度提高了1至5倍。重建图像在性能上没有明显下降,完全能满足SST技术需求。修改后的算法减少了并行处理器的数目,提高了航天可靠性,降低了运营成本。此外,对中德两种数据处理平台也做了比较,结果显示中方基于DSP处理器的平台对于SST的在轨图像压缩任务占用的资源更少。

3. 期刊论文 [朱希安](#).[金声震](#).[周金和](#).[ZHU Xi-an](#).[JIN Sheng-zhen](#).[ZHOU Jin-he](#) [小波变换分解层次对图像压缩效果的影响](#) -[北京机械工业学院学报 \(综合版\)](#) 2006, 21 (2)

小波分析(wavelet analysis)是近10年迅速发展起来的新兴学科,具有深刻的理论意义和广泛的应用范围.简述了小波分析的基本原理,重点地分析了采用嵌入式小波零树编码时,小波变换分解层次对SST(空间太阳望远镜)图像仿真压缩效果的影响.结果表明,随着压缩倍数的增加,所需小波变换的分解层次亦应增加;但当小波变换的分解层次增加到某一值时,信噪比和峰值信噪比将基本保持不变.压缩倍数和小波变换的分解层次之间存在一个较佳匹配问题,对此进行了较为详细的讨论.

4. 会议论文 [贾志宏](#).[金声震](#).[耿立红](#).[王景宇](#) [空间太阳望远镜星载图像压缩系统的研究](#) 2006

受存储容量和对地传输能力的限制,空间太阳望远镜(Space Solar Telescope, SST)15个CED采集的科学数据必须在轨进行5倍的压缩.在分析了SST对图像处理的需求基础上;综合中德合作的离线压缩方案,以及国内的设计能力,提出实在线压缩的方案;采用基于小波变换的压缩算法, DSP和FPGA器件,设计了星载压缩系统(Onboard Data Compression Unit, BCU).仿真实验表明上述方法满足SST系统需求。

5. 期刊论文 [贾志宏](#).[耿立红](#).[孙才红](#).[金声震](#).[JIA Zhi-hong](#).[GENG Li-hong](#).[SUN Cai-hong](#).[JIN Sheng-zhen](#) [空间太阳望远镜星载CCD图像压缩单元的研究](#) -[光子·激光](#)2007, 18 (3)

针对空间太阳望远镜(SST)卫星上海量的观测数据和在轨存储、下传能力有限的矛盾要求在轨压缩科学数据,本文在分析SST星载CCD图像压缩需求基础上,根据空间环境的限制和国内的设计能力,采用基于小波变换(DWT)和稀疏矩阵压缩的压缩算法,设计了星载压缩单元(DCU),并在DSP加FPGA结构的硬件平台上进行算法仿真和系统联试.测试结果表明,DCU可以在6 s内对2 048×1 024 pixels的太阳图像进行大于5倍压缩,压缩信噪比(SNR)优于26 dB,均满足SST图像压缩需求.DCU实现了星载图像处理系统的国产化设计,已通过验收.

6. 学位论文 [马瑞敏](#) [空间太阳望远镜星载图像压缩FPGA模块的研制](#) 2008

空间太阳望远镜(Space Solar Telescope, SST)是一颗大型天文观测卫星,它将0.1角秒的高分辨率对太阳活动区磁场进行精细观测.SST装载5个有效载荷,共具有15个成像CCD相机,它们高空间、高时间分辨率地采集来自太阳的信息,每日产生1750GB的天文观测数据,经辐射校正、几何校正、图像积分等预处理后缩减为原先的1/40.然而由于卫星通信能力的限制,下传的数据总量只达8GB,因此SST的数据压缩系统(Data Compression Unit, DCU)必须在轨完成5倍以上图像压缩。

本文根据SST的科学目标和任务需求,在分析并研究了中德合作设计、改进JPEG2000和样机的DSP软件方法等实现方案和已有文献对压缩算法结构的相关设计后,采用(5, 3)整数小波变换和稀疏矩阵的游程编码方法为DCU构建了一种新的高效高速的FPGA运算模块。在模块结构的具体设计中,使用了并行处理、流水线技术、串并转换等方法 and 技巧,并将变换单元与编码单元进行了有效衔接,使得它们可以实现部分并行处理,避免重复读写外部RAM,充分节省了硬件资源,并大大提高了速度。

本文的FPGA压缩模块不仅达到了SST的各项技术指标,而且与以往的设计方法相比,使得在轨图像压缩时间有了量级的缩短,为SST卫星的星载处理、功能扩展和航天应用提供了可靠的保证,同时为我国其它卫星的高速数据处理和图像压缩技术发展提供了宝贵的经验。

关键词: SST;图像压缩;FPGA;小波变换;稀疏矩阵;RLE

7. 期刊论文 [贾志宏](#).[金声震](#).[耿立红](#).[王景宇](#).[JIA Zhi-hong](#).[JIN Sheng-zhen](#).[GENG Li-hong](#).[WANG Jing-yu](#) [空间太阳望远镜星载图像压缩系统的研究](#) -[光学技术](#)2006, 32 (z1)

受存储容量和对地传输能力的限制,空间太阳望远镜(Space Solar Telescope, SST)15个CED采集的科学数据必须在轨进行5倍的压缩.在分析了SST对图像处理的需求基础上;综合中德合作的离线压缩方案,以及国内的设计能力,提出实在线压缩的方案;采用基于小波变换的压缩算法, DSP和FPGA器件,设计了星载压缩系统(Onboard Data Compression Unit, BCU).仿真实验表明上述方法满足SST系统需求。

8. 会议论文 [朱希安](#).[范京](#).[金声震](#).[宁书年](#) [嵌入式小波零树压缩算法在SST图像仿真压缩中的应用](#) 2004

SST(空间太阳望远镜)科学卫星是中科院重点支持的国家863重大科研项目.SST每天获取的数据处理后,待下行传输的数据量约为50GB,而由信道容量和卫星过顶时间决定了每天可传输的数据量仅为10GB.所以整个数据必须进行压缩才能满足下传到地面的要求.小波分析(Wavelets Analysis)是近十年迅速发展起来的新兴学科,具有深刻的理论意义和广泛的应用范围.本文阐述了小波分析的基本原理,重点地分析了采用嵌入式小波零树编码三种小波的SST图像仿真压缩效果.结果表明采用嵌入式零树小波压缩编码算法完全能够满足SST图像压缩的要求。

9. 学位论文 [田丽霞](#) [空间太阳望远镜中图像的小波压缩算法及软件设计](#) 2002

该文主要介绍了空间太阳望远镜中图像的小波压缩算法及软件设计.具体如下:从工程的角度简要介绍了小波变换的基本理论,然后在此基础上提出二维小波变换程序设计中遇到的几个问题及其解决办法.由嵌入式小波零树编码(EZW)引入,详细阐述了其变体——“基于集合划分的等级树编码(SPIHT)”的算法思想,以及SPIHT编码程序设计中遇到的一些问题.实验结果表明,小波SPIHT编码已足敷SST应用.为了进一步提高图像压缩质量,在SPIHT编码的基础上引入了算术编码.该文简单介绍了算术编码的基本思想,实验结果表明,在小波SPIHT编码的基础上加入算术编码,图像压缩效果有所改善.小波包图像压缩是当前小波图像压缩领域的一个新热点,前人已经在这方面做了很多工作.该文介绍了小波包的基本概念,并着重介绍R-D小波包优选算法;阐述了零树编码应用于小波包图像压缩时出现的不规则父子关系及其解决办法;针对R-D小波包优选算法与零树编码相结合时量化精度不相“匹配”的问题,创造性地提出修正R-D优选算法的思路;实验结果表明,在较大的压缩比(较大比特率)下,采用修正R-D优选小波包零树编码方案可以得到比前人的最大熵优选小波包零树编码方案更优越的图像压缩效果。

[引证文献\(2条\)](#)

1. [张学全](#).[顾晓东](#).[孙辉先](#) [CCSDS星载图像压缩模块的FPGA设计与实现](#)[期刊论文]-[半导体光电](#) 2009(6)

2. [杨建伟](#).[乔纯捷](#).[杨俊](#).[罗武胜](#) [基于DSP与FPGA结构的星载图像压缩系统设计与实现](#)[期刊论文]-[计算机测量与控制](#) 2008(12)



本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_yhxb200804047.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_yhxb200804047.aspx)

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 9349e69a-51fa-4287-8f58-9df201076888

下载时间: 2010年9月15日