【本文献信息】李进,金龙旭,韩双丽,等. 适于 CCD 相机图像压缩的位平面编码器[J]. 电视技术,2013,37(13).

适于 CCD 相机图像压缩的位平面编码器

李　进[1,2],金龙旭[1],韩双丽[1],郝贤鹏[1],吕曾明[1],陶宏江[1]
(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

【摘　要】针对目前 JPEG2000 中最优截断嵌入式块编码器硬件实现效率低且占用大量资源问题,提出一种适于 CCD 相机图像压缩的位面编码器(BPC)。BPC 结构思想是基于数据路径详细分析来获得上下文窗口的。另外,使用自主研发的地面检测设备对采用 BPC 结构设计的 JPEG2000 图像压缩系统进行实验。实验结果表明,BPC 结构 CCD 图像压缩系统可以稳定可靠地工作,BPC 具有较高的工作性能,工作频率达到 75 MHz。压缩系统与传统方法相比较,平均 PSNR 提高了 0.91 dB,非常适于 CCD 相机的应用。

【关键词】CCD 相机; JPEG2000 压缩; 比特平面编码器
【中图分类号】TP391.4　　【文献标志码】A

Bit Plane Coder for Image Compression of CCD Camera

LI Jin[1,2],JIN Longxu[1],HAN Shuangli[1],HAO Xianpeng[1],LÜ Zengming[1],TAO Hongjiang[1]
(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*;
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

【**Abstract**】In order to solve the problem of the low efficiency and occupying a large amount of storage resources on the implementation of EBCOT of JPEG2000, a novel bit plane coder (BPC) for image compression of CCD camera is proposed in this paper. The idea of proposed BPC architecture is based on detailed analysis of data path used to obtain context windows. Finally, the JPEG2000 image compression system based on proposed BPC is tested using the ground test equipment, which is designed in this paper. The experimental results showed that the CCD image compression based on proposed BPC can work stably and reliably. BPC has good work ability and its frequency of operation can reach 75 MHz. Compared with the traditional method, the proposed compression system could improve the average PSNR by 0.91 dB. It is suitable for the application of CCD camera.

【**Key words**】CCD camera; JPEG2000 compression; bit plane coder

随着空间 TDICCD 相机空间分辨率和覆盖宽度指标不断提高,导致 CCD 相机图像数据量呈指数增加,现有机载存储器容量有限,数传系统带宽受限,无法适应空间 CCD 图像的海量数据[1-4]。因此,必须要对 CCD 图像进行压缩。JPEG2000 是目前图像压缩性能最好的压缩方法,是各种图像压缩应用场合的首选方案[5-6]。然而,由于 JPEG2000 整体算法计算复杂、占用大量内存,难于硬件实现,不适于空间 CCD 相机的应用。为了使 JPEG2000 应用于空间 CCD 相机中,需要对其各部分进行改进。

JPEG2000 中占用资源和耗时最大的是最优截断嵌入式块编码(EBCOT)单元,这是由于 EBCOT 内在是比特级的处理算法,它不同于小波变换单元(字节级的处理方案),因此计算十分复杂,花费了 JPEG2000 编码系统的主要时间。EBCOT 的 Tier-1 算法可分为两部分:比特平面编码器(BPC)和二进制算术编码器(BAC)。BPC 是 EBCOT 最核心的技术,国内外学者对其进行了大量的研究以减少块编码的时间。文献[7-8]主要集中减少块编码所要求的状态变量数目和设计高效的扫描机制,但是这些方法效率仍然很低,占用大量的存储资源,难以满足空间相机的应用。

本文在参考国内外相关技术的基础上,根据项目背景需求,结合 TDICCD 图像特点,提出一种适于空间 TDICCD 相机图像压缩的新的 BPC 结构。

1　比特平面编码器结构的提出

1.1　比特平面编码器

BPC 是 EBCOT 中 Tier-1 的第一步,它将存储在码块(CB)存储器中量化后的小波系数进行 BPC 编码后,生成上下文信息(CX)和比特位的值(D)。每个数字的比特被分割,具有相同二进制权重的比特被独立存储在 1 个缓冲中形成 1 个比特平面。在比特平面内每 4 行形成 1 个 Strip。在 1 个比特平面中,扫描顺序是从顶端到底端逐 Strip 进行的。在每个 Strip 中数据扫描是按照从顶端到底端逐比特,从左到右逐列进行的。

BPC 有 3 种主要的编码通道:重要传播通道 SPP,幅值细化通道 MRP 和清除通道 CUP。这些通道被应用于 1

基金项目:国家"863"高技术研究发展计划项目(86325113B)

个 CB 的每个比特平面中，除了最重要比特（MSB）平面，都使用 CUP。这是由于初始条件 MSB 平面所有比特在 SPP 和 MRP 中将不会被编码，其他比特平面使用 SPP，MRP 和 CUP 按顺序将会被编码。

1.2 数据路径分析

每个 Strip 在垂直扫描模式中被作为一个独立的实体。在这种模式的 Strip 周围被“0”填补，如图 1 所示。

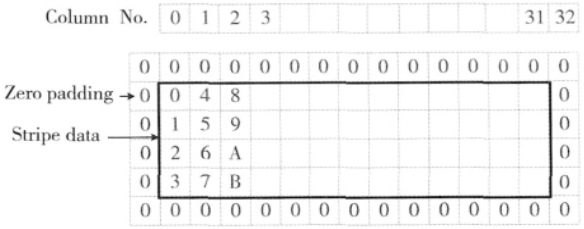


图 1 Strip 周围填补“0”

BPC 处理是从第 0 行 0 列开始，然后移到第 1 行，依次进行，在处理完第 3 行后，下一个处理的元素是右边下一列的第 0 行，按照此规律依次进行，直到 Strip 末端。这种运算原理表明这是一种滑动窗口结构。按照窗口的滑动，邻近的位置将会被改变。图 2 中的前 6 个数据元素的邻近窗口如表 1 所示。

D0	V0	D1
H0	X	H
D3	V1	D2

图 2 扫描的元素和它的邻近元素

表 1 图 2 中的前 6 个数据元素的邻近窗口

帧编号	D0	V0	D1	H0	X	H1	D3	V1	D2
1	0	0	0	0	0	4	0	1	5
2	0	0	4	0	1	5	0	2	6
3	0	1	5	0	2	6	0	3	7
4	0	2	6	0	3	7	0	0	0
5	0	0	0	0	4	8	1	5	9
6	0	4	8	1	5	9	2	6	A

传统鉴定一帧邻近关系按照图 2 所示的方法进行。为了便于分析，将表 1 内容按照表 2 重新组织。

表 2 帧交织中的邻近元素以及在 SIPO 中的位置

Element No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SIPO 元素标号	0	0	0	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	U	V	W	0	0	0
Stripe 数据	0	0	0	0	0	4	0	1	5	0	2	6	0	3	7	0	0	0

比较表 1 和表 2 中 Strip 数据行，可以观察到标号为 1～9 的元素表示图 2 中的 Strip 第 1 帧，4～12 的元素形成第 2 帧，7～15 的元素形成第 3 帧，依次类推，10～18 形成最后一帧。表 2 中开始和结尾的 3 个元素被标为“0”，这是由于它们始终为 0。因此，它们并不需要硬件实现，这也为使用 4 个 3 串行比特实现数据路径提供了可能性（详见文中第 2 节）。

2 比特平面编码器结构

提出的 BPC 结构如图 3 所示。DWT 引擎产生13 bit，它被组织和存储在 CB 存储器中，提出的结构 CB 大小为 $32 \times 32 \times 14$。在 CB 写操作的同时符合比特信息被分离并存储到符合平面中，状态变量（δ，δ' 和 η）存储到状态变量平面中。在数据通道 1 和 2 中生成处理任何幅值比特的邻近窗口。在执行条件被生成的基础上，BPC 控制器决定哪个通道被执行，选择一个特殊的编码原始元素，并存储在上下文缓存中的上下文数据。

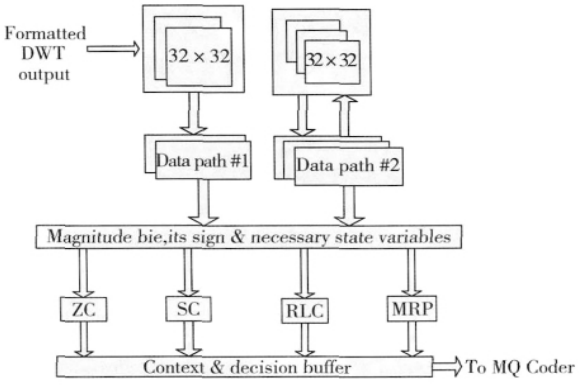


图 3 BPC 结构

图 3 中 2 个不同的数据路径是用来从选择的 Strip 中读取数据。由于符合和幅值比特没有变化，因此这些平面并没有被更新，而基于特定条件状态变量更新和新的值必须被存储以便将来被处理。因此，数据通道 2 和数据通道 1 略不相同。由 1.2 节知在 4 个 3 bit SIPO、模 5 行计算器及 9 个 4:1 多路复合器下当前邻近窗口可被得到，如图 4 所示为本文提出的数据通道 2 的 VLSI 结构。

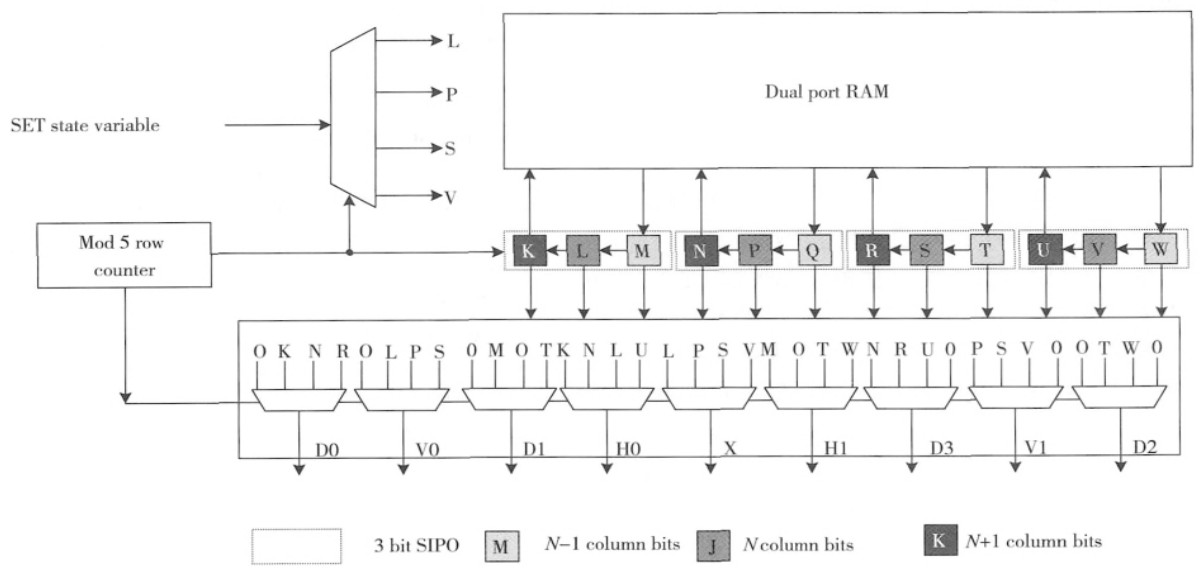


图4 数据路径结构

BPC 一次处理 1 个幅值比特，为了减少存储器访问，数据读写对于每列执行 1 次。为了处理第 i 列，第 $i+1$ 列被读并存储在标记为 M，Q，T 和 W 的 SIPO 元素中。第 i 列和第 $i-1$ 列数据将分别在 SIPO 的 L，P，S，V 和 K，N，R，U 元素中。这种方法 4 个 SIPO 容纳相应 3 列的 12 个数据比特。这些比特输入到 9 个 4∶1 多路复合器中，多路复合器一次输出 9 bit 形成当前的邻近窗口。一个模 5 计数器用来选择一个特定的以便准备进行处理的行，同时用来控制多路复合器链的选择行。该计数器的前 4 个状态对应一列中的行，而第 5 个状态用来预获取下一个列和存储更新的变量。

3 实验结果

为了验证本文提出的 BPC 结构可行性，提出的结构在 ISE8.2 使用 Verilgo HDL 实现，硬件电路 FPGA 器件选用 XC2V1000－BG575，压缩算法其他模块采用传统 JPEG2000 算法。整个算法编写调试过程使用 Modelsim XE 6.3 仿真软件进行辅助设计。同时为了验证本文提出的 BPC 结构是否可行使用自主研发的图像模拟源设备，图像模拟源发送测试图像，压缩系统对图像进行压缩，并将压缩码率传输到解压缩系统中，重构的图像经 Camer-Link 传输到计算机上进行分析，图 5 为原始图像和重构图像。

由图 5 可知本文设计的 BPC 能够正常工作。

表 3 为本文设计的 BPC 结构性能参数结果。

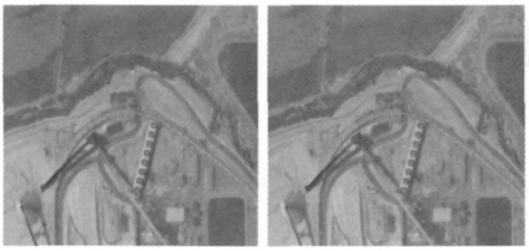


图5 测试图像压缩结果(截图)

表3 BPC 实现结果

位平面数目	12
工作频率/MHz	75
LUT 占用数目	2 079
占用总的 Slices	2 398
占用总的 FFS	105

由表 3 知，本文提出的 BPE 工作频率达到 75 MHz，满足设计指标要求。

为了测试设计压缩系统性能，地面检测系统向压缩系统发送各种测试图像进行实验，并与传统方法进行比较，平均 PSNR 实验结果如表 4 所示(压缩比为 8∶1)。

表4 PSNR 实验结果 dB

图像	文献[9]	文献[10]	本文法
I－1	40.54	41.03	41.73
I－2	37.36	37.81	39.07
I－3	38.12	39.05	39.82
Average	38.67	39.29	40.20

由表 4 知，本文压缩系统平均 PSNR 达到 40 dB，比传

统方法提高了0.91 dB。

4 结论

针对目前JPEG2000中最优截断嵌入式块编码器硬件实现效率低且占用大量资源问题，本文提出一种适于空间TDICCD相机图像压缩的JPEG2000比特平面编码器(BPC)。本文提出的BPC结构思想是基于数据路径详细分析来获得上下文窗口的。另外，使用自主研发的地面检测设备对采用本文提出的BPC结构设计的JPEG2000图像压缩系统进行实验。实验结果表明，使用本文提出的BPC结构CCD图像压缩系统可以稳定可靠地工作，BPC具有较高的工作性能，工作频率达到75 MHz。压缩系统与传统方法相比较，平均PSNR提高了0.91 dB。非常适于空间TDICCD相机的应用。为空间CCD相机图像压缩提供了一种很好的解决方案。

参考文献:

[1] 李彬，张建华，吴增印. 一种适合星载多光谱图像的压缩算法研究[J]. 航天返回与遥感，2011，32(1)：28-32.
[2] 王建军，刘波. 适于硬件实现的无损图像压缩[J]. 光学精密工程，2011，19(4)：922-928.
[3] 王磊，吴家骥，白静. 基于整型可逆时域交叠变换的遥感图像压缩[J]. 光子学报，2010，39(12)：2251-2256.
[4] ALBERT L，CHANG C F. Implementation of CCSDS data compression for remote sensing image[C]//Proc. SPIE 7810，Satellite Data Compression，Communications and Processing VI，2010. San Diego，California：[s. n.]，2010：1-10.
[5] SON C H，KIM J W，SONG S G，et al. Low complexity embedded compression algorithm for reduction of memory size and bandwidth requirements in the JPEG2000 encoder[J]. IEEE Trans. Computer electronics，2010，56(4)：2421-2429.
[6] 刘永征，刘学武，胡炳樑，等. 基于ADV212的JPEG2000静态图像压缩系统设计[J]. 电子器件，2009，32(3)：504-508.
[7] GANGADHAR M，BHATIA D. FPGA based EBCOT architecture for JPEG 2000[J]. Microprocessors and Microsystems，2005，29(11)：363-373.
[8] LI Y J，BAYOUMI M. A three-level parallel high-speed low-power architecture for EBCOT of JPEG2000[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology，2006，16(9)：1153-1163.
[9] MINSOO R，PARK I. Memory-less bit-plane coder architecture for JPEG2000 with concurrent column-stripe coding[C]//Proc. IEEE International Conference，2009. [S. l.]：IEEE Press，2009：2673-2676.
[10] LI Baofeng，DOU Yong. Subblock-based BPE scheme to conquer mismatch in memory access pattern[C]//Proc. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing，2008. [S. l.]：IEEE Press，2008：814-817.

作者简介:

李　进(1984—)，博士生，主研光电成像和图像压缩存储技术。

责任编辑: 魏雨博　　**收稿日期:** 2012-08-01

(上接第28页)

[3] 王俊芳，王正欢，王敏. 常用图像去噪滤波方法比较分析[J]. 现代商贸工业，2009，16(1)：310-311.
[4] 李俊盛，刘宗田. 基于异性扩散—中值滤波的超声医学图像去噪方法[J]. 计算机应用于软件，2009，26(1)：76-78.
[5] YANG Y，WEI Y. Wiener filtering using neighboring coefficients[C]//Proc. 2011 International Conference on Network Computing and Information Security. Guilin：IEEE Press，2011：406-409.
[6] ROBERT D，MARKUS R. Stability analysis of an adaptive wiener structure[C]//Proc. ICASSP 2010. Dallas：IEEE Press，2010：3718-3721.
[7] SUI C H，TANG Y J. Image regressing technique research of astronomical blurring images-astronomical image regressing based on wiener filtering[C]//Proc. ICISE 2009. Nanjing：IEEE Press，2009：1294-1297.
[8] COIFMAN R，MEYER Y，WICKERHAUSER V. Wavelet analysis and signal processing[C]//Wavelets and their applications. [S. l.]：Boston. Jones an Bartlett，1994：125-151.
[9] 杨兴明，吴永忠，孙锐，等. 基于小波多分辨率分析和新的阈值自适应的信号去噪[J]. 合肥工业大学学报，2007，30(12)：1580-1583.
[10] 郭蕾，田松，许悦雷，等. 一种小波自适应比例萎缩去噪改进算法[J]. 电视技术，2012，36(11)：27-30.
[11] YI X F，CHEN F J，YANG X J. Template matching by wiener filtering[J]. Journal of Computer Research &Development，2000，37(20)：1499-1503.
[12] HARDIE R. A fast image super-resolution algorithm using an adaptive wiener filter[J]. IEEE Trans. Image Processing，2007，16(12)：2953-2964.
[13] JIN F，FIEGUTH P，WINGER L，et al. Adaptive wiener filtering of noisy images and image sequences[J]. IEEE Trans. Image Processing，2003，3(1)：349-352.
[14] 李东兵，李国平，滕国伟，等. 一种新的自适应维纳滤波方法[J]. 上海大学学报，2012，18(6)：555-560.
[15] WANG Z，BOVIK A C，SHEIKH H R，et al. Image quality assessment：From error visibility to structural similarity[J]. IEEE Trans. Image Processing，2004，13(4)：600-612.

作者简介:

李东兵(1984—)，硕士生，研究方向为视频编解码；

李国平(1974—)，博士，副教授，研究方向为音视频压缩多媒体通信。

责任编辑: 时　雯　　**收稿日期:** 2012-10-30