

文章编号: 1007-2780(2012)02-0245-05

基于位平面的嵌入式超光谱图像压缩系统

尹传历, 李嘉全

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 中国科学院航空光学成像与测量重点实验室,
吉林 长春 130033, E-mail: yinchuanli_1979@163.com)

摘 要: 针对超光谱图像压缩系统实时性差的缺点, 提出一种基于位平面的嵌入式超光谱图像压缩系统。对高位位平面首先采用 DPCM 去相关, 然后再进行游程编码, 对低位位平面首先采用四叉数分割, 然后再进行 LZW 编码, 最后混合码流进行数据输出。结合实际应用, 以高性能 DSP 芯片 TMS320C6455 作为中央处理器, 结合现场可编程门阵列 FPGA 构成外围电路逻辑控制, 搭建了嵌入式高速图像压缩处理平台。基于该平台用真实图像验证了文中提出的算法, 实验结果表明, 该系统在保持较高重建精度的同时, 有效降低了算法运行量, 减少了算法运行时间, 能够满足工程项目的要求。

关 键 词: 位平面; 嵌入式系统; 超光谱; 图像压缩

中图分类号: TP391 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20122702.0245

Embedded Hyper-Spectral Image Compression System Based on Bit-plane

YIN Chuan-li, LI Jia-quan

(Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement,
Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: yinchuanli_1979@163.com)

Abstract: According to the disadvantage of poor real-time of hyper-spectral image compression system, a new hyper-spectral image compression system based on bit-plane is presented. For the high-bit-plane, first DPCM to relevant is used, then the run-length encoding is done. For the low-bit-plane, the Quad-split algorithm is adapted, then the LZW encoding is done. Finally the mixed steam is given. An embedded high speed image compression processing system on high performance DSP TMS320C6455 and FPGA was designed. Experimental results with real images shows that the reconstruction of the system maintains a high accuracy, and the system can reduce the amount of running the algorithm, the running time of the program is shorter, so it can meet the requirements in the project.

Key words: bit-plane; embedded system; hyper-spectral; image compression

1 引 言

超光谱成像技术是 21 世纪遥感技术的发展前沿和当今世界遥感界关注的焦点之一^[1-2]。超

光谱成像仪获取地物的二维空间+一维光谱的数据立方体, 即“图谱合一”, 得到每个地物的连续丰富的光谱信息, 能够定量地分析物质成分。

超光谱成像仪的光谱通道连续可达数百个以

收稿日期: 2011-09-22; 修订日期: 2011-11-24

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(No. 2008AA121803)

作者简介: 尹传历(1979—), 男, 吉林江源人, 副研究员, 博士, 主要研究方向是航空数字图像处理与嵌入式系统。

上,由于它的超多谱段、高光谱分辨率和数据率,其具有数据量大、信息冗余度大等海量数据特点。这样的数据量如果不进行有效的压缩是无法在有限的通信带宽内进行高效传输的。因此,超光谱图像的高保真压缩技术逐渐成为该领域研究的重点^[3]。

近几年,随着图像压缩技术进一步完善以及高速、高性能处理器的出现,超光谱实时压缩的研究得到了迅速发展^[4-5]。顾军跃等提出首先用基于 KLT 的变换编码对图像进行谱间去相关性,再用 JPEG2000 去除空间相关性和编码^[6]。但由于 KLT 的运算没有相关优化技术,所以算法实时性不理想,对内存的需求也过高。王春胜等人对超光谱图像进行三维 DCT 后,采用 JPEG 方法对变换系数进行编码,算法可在准无失真和视觉失真的范围内进行选择,量化器的设计中引入了图像边缘信息保持,谱段去相关时采用一维 DCT 变换实现了快速处理^[7]。但是,整个算法计算量较大,复杂度较高。Stack-Run 提出了超光谱的行程编码算法,利用小波系数大部分为非重要的特点,通过编码扫描过程中连续出现的非重要系数的行程长度来提高压缩效率^[8],缺点是对于重要系数密集的区域,非重要系数行程长度较短,行程编码的效率会降低。

为了使超光谱数据压缩系统得到更为广泛的应用^[9],本文设计了一种嵌入式高速图像处理平台,并在此基础上实现了一种基于位平面的光谱

图像压缩处理算法,在该平台上采集实际图像验证了算法的有效性。

2 嵌入式图像处理平台设计

本文根据工程实际项目的功能要求和技术指标要求,设计了基于 DSP 和 FPGA 的高速图像处理平台。系统主要由 Camlink 解码单元、数据缓存和逻辑控制单元(FPGA)、数据压缩处理单元(DSP)、数据管理单元(FPGA)和图像编码单元等部分组成。硬件结构如图 1 所示。

系统核心处理芯片为 TMS320C6455,它是 TI 公司近几年推出的一款高性能定点 DSP。它是基于第三代先进 VeloviTI VLIW(超长指令字)结构开发出来的新产品,可以广泛应用于通信、图像处理、无线传输等领域。TMS320C6455 主频达到了 1 GHz,1 ns 的指令周期,每周期执行 8 条 32 位指令,最大峰值速度达到 8 000 MIPS。片内基于 C64xx 内核的 L1/L2 存储结构,集成了大量的存储空间。其中,L1 程序空间为 32K 字节,L1 数据空间为 32K 字节,L2 为 2M 字节,并可以直接映射到存储空间。同时,TMS320C6455 具有丰富的外围接口,是设计图像处理嵌入式系统的最佳平台之一。

系统工作过程如下:系统上电后,DSP 从外部 FLASH 中 load 用户程序到内部程序空间,bootload 成功后用户程序执行。超光谱图像数据首先缓存到 FPGA 的视频口 FIFO 中,每当 FIFO

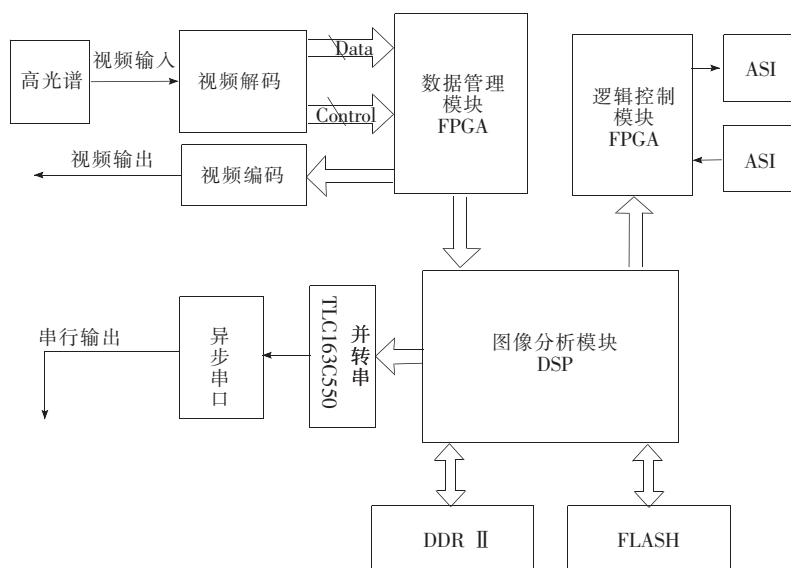


图 1 嵌入式图像处理平台原理框图

Fig. 1 Principle diagram of embedded image processing system

中的数据存满一行有效像素时,EDMA 便将该行图像数据搬到外部存储器 DDR2 的视频采集存储区中,当该存储区中的图像数据满 256 行时,TMS320C6455 运行超光谱压缩算法,将处理完的图像数据复制到 DDR2 的数据存储区中,然后将该区中的数据通过 EDMA 搬到 FPGA 数据输出 FIFO 中,由 FPGA 编码成标准 ASI 格式输出。如此反复进行,直到串行通讯控制接口发送停止命令。

3 基于位平面的超光谱图像压缩算法

作为一种高效、快速的统计编码,位平面编码在很多二维图像的编码方案中被广泛采用。对于灰度级为 2^n 的图像,像素值可以写成如下形式:

$$a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \cdots + a_12^1 + a_02^0 \quad (1)$$

把图像中的每个像素都按照式(1)将系数提取出来,一幅分辨率为 n 的多值图像就变成了 n 幅二值图像,其中第 i 幅图像由所有像素的第 i 个二进制位组成,把每一个二值图像称为一个位平面。

对每个位平面分别利用二值图像的常数区编码技术进行压缩,即把位平面划分成若干个大小为 $p \times q$ 的像块,像块分为全“0”块、全“1”块和“0”、“1”混合块 3 类。大量的统计数据表明,划分结果中前两种结构最多。

超光谱图像的高位位平面和低位位平面数据具有不同的特征:

由于超光谱各波段图像都是对同一地物成像,所以各谱段地物轮廓基本一致。其中,高位位平面表达了图像的基本轮廓,全 0 或全 1 的像块较多,高位位平面之间的谱间相关性很强;低位位平面表达了图像的细节特征,空间相关性和谱间相关性都不高。

本文为了提高算法速度,针对超光谱图像的特性,对高位位平面和低位位平面分别采用不同的机制进行压缩。

具体处理流程为:

Step. 1 高位位平面压缩。

(a)图像去相关

超光谱图像具有很强的谱间相关性,反映在像素值上就是相邻波段间的像素值相差很小。因为相邻波段的地物反射率接近,当光谱分辨率很

高时,同一区域的地物对各波段光的反射强度基本一致,此时采用谱间位平面 DPCM 可以较好地去除谱间相关。

设计谱间去相关公式如下:

$$\overline{x_{n,j,j}} = x_{n,j,j} - Kx_{n-1,i,j} \quad (2)$$

其中 $x_{n,j,j}$ 为第 n 个谱段像素 (i,j) 的灰度值, $x_{n-1,i,j}$ 为第 $n-1$ 个谱段像素 (i,j) 的灰度值, K 是两个谱段高位位平面内像素均值之比, $\overline{x_{n,i,j}}$ 为第 n 个谱段和第 $n-1$ 个像素的残差。

(b)图像编码

去相关后在差值图像中存在大量像素值为 0 的区域,如果采用游程编码效率应该很高。游程编码的基本思想是把具有相同像素值的、连续出现的像素序列标记为序列长度和像素值,这样一来连续 N 个值为 G 的像素只要用数组 (N,G) 就可以表示,其中的序列长度称为游程,对相同灰度值的各种游程长度出现的概率进行统计,用游程长度作为编码对象进行统计编码。因为在编码过程中实际上利用了像素之间的相关性,所以游程编码可以得到比较低的码率下限。

Step. 2 低位位平面压缩。

(a)图像分割

低位集合中的位平面相关性不高,利用四叉树分解法逐个位平面分别压缩。为了更加有效地实现图像编码,可以根据像素值将图像分割成大小不同的像块,每一个像块中的像素具有一致性,这样就可以按像块对图像编码从而实现压缩。分割从原始图像开始按照西北、东北、西南、东南 4 个象限分割,得到的 4 个子块经检测如果符和一致性原则就停止分割,否则继续按上述规则分割,直至块内只有单个像素或像素值一致。

(b)图像编码。

低位位平面的四叉树分割后,我们采用 LZW 对其进行编码。LZW 是许多操作系统中的标准压缩形式,逻辑简单、运算速度快,适合实时应用。

4 实验结果与分析

为了验证本文设计的嵌入式超光谱图像压缩系统的有效性,在无人机平台上对获取的场景超光谱图像进行实时压缩处理。该超光谱成像数据来自于 863 重点项目《无人机遥感载荷综合验证系统》。该超光谱图像数据的特点为:谱带数目 120 个通道,波长范围 400~1 000 nm,光谱分辨

率 5 nm,飞行高度 2.5 km,空间分辨率 0.5 m,像素比特数 12 bit。

采用峰值信噪比(PSNR)作为衡量图像重建质量的客观指标,设 $a_{\max}=2^K-1$, K 表示一个像素点所用的二进制位数,则 PSNR 定义为:

$$\text{PSNR} = 10\lg \left[\frac{MNa_{\max}^2}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [a(i,j) - \hat{a}(i,j)]^2} \right]$$

表 1 为不同压缩比不同波段的峰值信噪比值,图 2 为超光谱第 60 通道原始图像,图 3 为超光谱第 60 通道压缩比为 7.72 的重建图像。从表中可以看出,随着压缩比的增加,压缩重建图像的质量有所下降,在本文提出的压缩模式下重建图像 PSNR 值较高,压缩比接近 8 时,PSNR 值仍大于 34,这也印证了误差调控的有效性。从重建图像质量上来看,该系统的重建图像与原图像相似度较高。

表 1 近无损压缩重建图像 PSNR

Table 1 PSNR of near- lossless compression reconstructed image

波段号	压缩比				
	2.53	5.69	7.84	8.21	9.77
20	47.23	41.31	35.64	31.42	31.53
40	48.30	40.46	35.16	30.86	30.36
60	47.38	39.52	34.73	30.17	29.53
80	46.21	39.79	35.75	31.42	29.25
100	48.13	38.42	34.52	30.64	30.17
120 波段平均值	47.76	39.32	34.94	30.67	29.45



图 2 超光谱 60 通道原始图像

Fig. 2 The sixtieth channel hyper-spectral origin image



图 3 超光谱 60 通道重建图像

Fig. 3 The sixtieth channel hyper-spectral reconstructed image

在处理时间上,对于 $1\,024\times 256$ 大小的超光谱图像,运行时间小于 1 s,能够满足工程中的要求。表 2 中列出了本文算法和 JPEG-LS 压缩算法在相同压缩比情况下的编码时间,从表中可以看出,本文算法的编码时间大大低于 JPEG-LS,约有 32% 的提高。

表 2 不同压缩算法编码时间对比

Table 2 Comparison of cost time of different compression algorithms

压缩算法	高位编码	低位编码	总体编码
	时间/s	时间/s	时间/s
JPEG-LS			1.37
本文算法	0.31	0.62	0.93

5 结 论

结合工程实际的需要,对嵌入式超光谱图像压缩系统进行设计。设计了嵌入式超光谱图像压缩处理平台,并在此基础上实现了一种基于位平面的超光谱图像压缩算法。基于该平台用真实图像验证了本文提出的算法,实验结果表明,本系统在保持较高重建精度的同时,有效降低了算法运行量,减少了算法运行时间,满足了工程项目的要求。下一步工作计划将进一步深入研究超光谱图像压缩算法,在不显著增加运算复杂度的情况下,进一步提高重建图像质量。

参 考 文 献:

[1] 薛莉. 基于预测技术的高光谱图像压缩算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
[2] 张雷. 基于超光谱遥感图像三维特征的压缩方法研究 [D]. 长春: 中科院长春光机所, 2008.
[3] 黄菁. 高光谱图像编码研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008.

- [4] 尹传历,张葆,戴明,等. 嵌入式雾天降质图像对比度增强系统的设计与实现[J]. 电视技术, 2009, 33(12): 90-92.
- [5] 尹传历,刘冬梅,宋建中. 一种嵌入式实时跟踪系统的设计与实现[J]. 电视技术, 2008, 32(1): 85-87.
- [6] 张威. 无人机载光谱仪超光谱图像压缩技术研究[D]. 长春:中科院长春光机所, 2010.
- [7] 王春胜,禹秉熙,戴逸松,等. 高光谱图像数据变换编码压缩方法[J]. 遥感学报, 2000, 4(2): 95-99.
- [8] Tsai M J, Villaseno J D, Chen F. Stack-run image coding[J]. *IEEE Trans Circuits Syst. Video Technol.*, 1996, 6(5): 519-521.
- [9] 尹传历. 基于双目立体视觉的三维测量技术研究[D]. 长春:中科院长春光机所, 2008.

欢迎订阅 欢迎投稿

《光学 精密工程》

《光学 精密工程》是中国仪器仪表学会一级学术期刊,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办,科学出版社出版。由国内外著名科学家任顾问,陈星旦院士任编委会主任,国家科技部副部长曹健林博士担任主编。

《光学 精密工程》坚持学术品位,集中报道国内外现代应用光学、光学工程技术、光电工程和精密机械、光学材料、微纳科学与技术、医用光学、先进加工制造技术、信息与控制、计算机应用以及有关交叉学科等方面的最新理论研究、科研成果和创新能力。本刊自2007年起只刊发国家重大科技项目和国家自然科学基金项目及各省、部委基金项目资助的论文。《光学 精密工程》竭诚欢迎广大作者踊跃投稿。

本刊获奖:

中国科学技术协会择优支持期刊
中国百种杰出学术期刊
第一届北方优秀期刊
吉林省双十佳期刊

国际检索源:

《美国工程索引》(EI Compendex)
《美国化学文摘》(CA)
《英国 INSPEC》(SA)
《俄罗斯文摘杂志》(PЖ)
《美国剑桥科学文摘》(CSA)

国内检索源:

中国科技论文统计源期刊
中国学术期刊(光盘版)
万方数据系统数字化期刊
台湾华艺中文电子期刊网
中国科学引文数据库
中国物理文献数据库
中国期刊网

中文核心期刊要目总览(北大)
中国学术期刊综合评价数据库
中国光学与应用光学文摘
中国科学期刊全文数据库
中国光学文献数据库
中国学术期刊文摘
中国物理文摘

地址:长春市东南湖大路3888号

《光学 精密工程》编辑部

邮编:130033

电话:(0431)86176855

传真:(0431)84613409

E-mail: gxjmgc@ciomp. ac. cn

gxjmgc@sina. com

http://www. ope. net. cn

国内邮发代号:12-166

国外发行代号:4803BM

定价:50.00元/期

帐户:中国科学院长春光学
精密机械与物理研究所

银行:中行吉林省分行营业部

帐号:220801471908091001