

基于 DSP 的图像压缩系统设计与算法研究

须文波, 陈玉萍, 孙俊

XU Wen-bo, CHEN Yu-ping, SUN Jun

江南大学 信息工程学院, 江苏 无锡 214122

College of Information Engineering, Southern Yangtze University, WuXi, Jiangsu 214122, China

E-mail: cyp117@hotmail.com

XU Wen-bo, CHEN Yu-ping, SUN Jun. Design and algorithm research of image compression system based on DSP Techniques. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(24): 88-90.

Abstract: The need for effective data compression is evident in almost all applications where storage and transmission of digital images are involved. For the simple hardware complexity it is so easy to implement in SILLIA logic scheme image processing system based on coordinated DSP and FPGA techniques is presented, in this system, FPGA is used as image acquisition unit and DSP is designated to image compression. In order to dispose computational complexity and search precision aiming at the block match algorithm, in this paper, a method of Block Match Quantum-behaved Particle Swarm Optimization (BMQPSO) is introduced in order to realize the image compression problem. During the process of image compression, an ordered representation frame of image is first searched by particles, and then the compressed code was optimized according to the particles astringency. Experimental results show that the compression efficiency of BMQPSO algorithm is much better than classical algorithms.

Key words: image compression; image acquisition; DSP; FPGA; BMQPSO algorithm

摘要: 提出一种基于 DSP 和 FPGA 协同设计实现视频图像压缩的控制逻辑方案。由 FPGA 模块来实现图像采集, DSP 模块进行编码压缩, 同时针对块匹配算法中搜索精度与计算复杂度相关性问题, 介绍了一种基于块匹配的量子行为的微粒群优化算法 (Block Match Quantum-behaved Particle Swarm Optimization, BMQPSO)。在图像的实时压缩算法处理中, 先对原始图像序列每一帧的宏块用微粒子进行搜索, 再根据收敛性要求对压缩编码进行优化。实验结果表明该算法压缩效果优于经典搜索算法。

关键词: 图像压缩; 图像采集; DSP; FPGA; BMQPSO 算法

文章编号: 1002-8331(2007)24-0088-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

如今, 网络和数字化技术的飞速发展, 使得对视频图像多媒体的处理要求也越来越高。多媒体技术的发展, 要求存储和传输的文件、图像必须满足终端用户的要求。例如, 一幅图像, 720 像素×480 线, 每种颜色分量中的每个像素用 8 bit 表示, 每秒传输 30 帧, 则要求信道的传输能力达到 248 Mb/s。不进行视频图像的压缩将对存储器的存储容量、传输信道的传输率(带宽)及计算机的处理速度等造成极大的压力。因此, 图像的压缩编码成为图像通信的关键技术^[1], 同时高分辨率的视频应用给视频编码器的计算能力提出了很高的要求。

目前, 性能单一的 CPU/DSP 还不具备较高的计算能力。为了解决图像压缩系统中运算量大和实时处理之间的问题。本文提出了 DSP 和 FPGA(Field Programmable Gate Array)协同设计方案^[2], 较好地解决了运算量大和实时处理之间的矛盾。使用 FPGA 完成图像采集, 用高性能的 DSP 进行压缩编码, 因而在视频编码器内 DSP 和 FPGA 能够进行流水操作, 有效地提高了编码器的性能。

同时为了降低算法的计算复杂度, 本文引入了基于块匹配的 QPSO 算法(BMQPSO)。由于块匹配算法在整个系统中的计

算复杂度大, 往往占整个系统的 50% 以上, 就如何提高运动估计的效率, 使运动估计算法的搜索过程更快速、更高效, BMQPSO 算法首先计算当前宏块的空间复杂度(MBC), 然后比较当前宏块的 MBC 与 SAD(求和绝对误差)值来判断当前宏块的编码类型, 大大降低了算法的计算复杂度。

1 系统设计方案

为了实现可靠、适用面广的硬件系统, 选用的 FPGA 为 Xilinx 公司的 Virtex1000, 由它来负责外部数据采集控制, DSP 为 TI 公司的 TMS320C6000^[5,6], 它主要实现编码压缩, 该系统的功能结构如图 1 所示。由于视频压缩编码计算量很大, 为了尽可能提高视频帧率, 由 DSP 专门负责视频压缩编码, 而视频采集等其它功能则由 FPGA 模块来实现。视频压缩模式由 FPGA 模块先截获, 然后向 DSP 模块产生外部中断, 在 DSP 响应时读取存储在 FPGA 中的用户命令, 根据用户要求的视频格式、帧图像分辨率和视频压缩码流速率进行视频压缩编码。

FPGA 模块的功能图如图 2。如图 2 所示, 由视频解码器所得的数字信号并所得的 YUV(Y 视频亮度、UV 色度分量)数据

流一并送到采集系统 FPGA 中。首先对输出数据流进行预处理,其次将预处理后的数据用帧存乒乓、刷新机制的方式写入到适当的帧存中,最后完成与图像压缩系统的接口控制,由图像压缩系统将帧存中的数据读出后释放帧存的控制权。核心控制部分所选用的 FPGA,它具有 10 万等效系统门,系统时钟频率可达 240 MHz,用户可用的 I/O 管脚有 196 个,核电压为 1.8 V,峰值功耗较低^[3,4]。

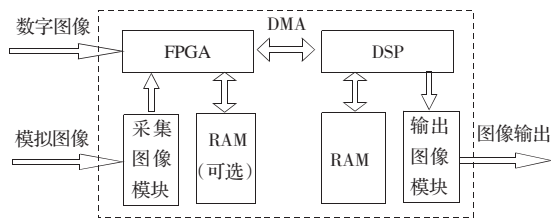


图1 图像压缩系统功能基本框图

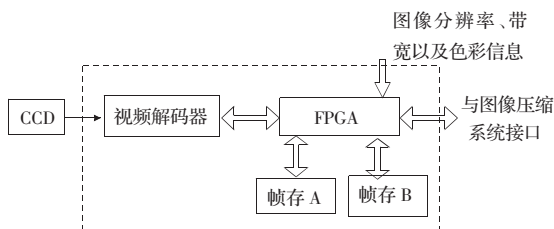


图2 图像采集系统硬件结构图

DSP 压缩部分实现如图 3:

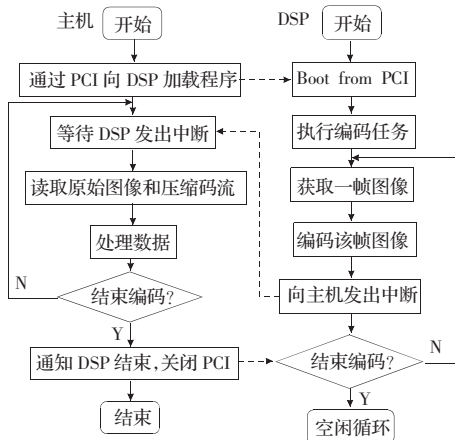


图3 系统工作流程图

首先主机通过 PCI 初始化 DSP 并对其加载程序,DSP 开始运行编码程序,从视频端口获取实时采集的视频。VPOR 输出的数字视频作为 DM642VPORT 的输入,VPOR 输出 YUV (4:2:0)格式的图像作为编码程序的输入,DSP 完成一帧图像的编码,通过 PCI 向主机发出中断,主机响应中断,从 DSP 的存储空间读取并处理原始图像数据和压缩后的码流。

2 压缩算法的优化

实验表明,如果代码和数据要访问的数据在 C6000 片内存储区(PRAM 和 DRAM),其代码执行速度要比代码和数据在片外同步 SDRAM 中平均块 17 倍(片内总线宽度为 256 位,数据访问为 1 个 CPU 周期)。因此,将执行代码和数据放到片内将大大提高程序的运行速度。

宏块编码类型判别算法:

在 MPEG-4 算法中采用了快速估计计算法,但是在进行

块编码类型判别时计算量很大。为此,本文提出了基于块匹配量子行为的微粒群优化算法(BMQPSO,Block Match Quantum-behaved Particle Swarm Optimization),进一步降低了运动估计过程中的计算量。

2.1 QPSO 算法^[7,8]

QPSO 是一种微粒群进化算法,用“群体”和“进化”的概念,依据个体(微粒)的适应值大小进行操作。该算法将每个个体看作是 N_d 维搜索空间中的一个没有重量和体积的微粒,并在搜索空间中以一定的速度飞行。该飞行速度由个体的飞行经验和群体的飞行经验动态调整。每个粒子代表 N_d 维空间中的一个位置,朝着下面两个方向调整粒子的位置:

- (1) 至今发现的每个粒子的最优的位置;
- (2) 粒子群的最优位置。

每一个粒子 i 包含下列信息:

- (1) $x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$:粒子的当前位置;
- (2) $P_i=(P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{id})$:代表粒子 i 的最佳适应性值,即 $pbest$;
- (3) $P_g=(P_{g1}, P_{g2}, \dots, P_{gd})$:代表粒子群的最佳适应性值,即 $gbest$ 。

粒子的进化公式为:

$$m_{best} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_i = \left(\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_{i1}, \dots, \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M P_{id} \right) \quad (1)$$

$$P_{id} = \varphi * P_{id} + (1 - \varphi) * P_{gd} \quad \varphi = rand \quad (2)$$

$$x_{id} = p_{id} \pm \alpha * |m_{best_d} - x_{id}| * \ln\left(\frac{1}{u}\right) \quad (3)$$

这里的 m_{best} 是粒子群 $pbest$ 的中间位置, p_{id} 为 p_{id} 和 p_{gd} 之间的随机点。 α 为 QPSO 的收缩扩张系数,它是 QPSO 收敛的一个重要的参数,一般可取:

$$\alpha = (1.0 - 0.5) * (MAXITER - T) / MAXITER + 0.5 \quad (4)$$

2.2 BMQPSO 算法的模型应用

算法的应用方法是:依据一定的匹配法则,通过在两帧之间的像素域利用搜索程序找到最佳的运动矢量估计。如图 4 所示,用当前帧中的 $M \times N$ 像素块(中心位置在 (x_0, y_0))的位移,就是通过搜索帧 $k-1$ (搜索帧)中同样大小的最佳匹配块来确定的。从计算因素考虑,搜索通常限制在 $(M+2M_1, N+2N_1)$ 范围内, M_1, N_1 的值可以根据具体的估计要求确定。把每一个像素块看成是一个粒子,通过不断迭代和动态调整来搜索相邻帧对应的像素块,从而以最小的计算量达到最佳匹配效果。

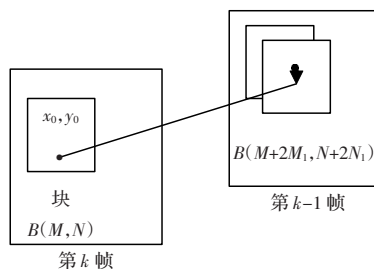


图4 块匹配原理图

因此算法的整体效率体现在图像质量、压缩码率和搜索速度(复杂度)三个方面,运动估计越准确,图像的质量越高。常见的匹配函数为求和绝对误差,其定义如下:

$$SAD(d_x, d_y) = \sum_{(x_1, y_1) \in B} |f_k(x_1, y_1) - f_{k-1}(x_1 + d_x, y_1 + d_y)| \quad (5)$$

具体算法的基本步骤如下:

- (1) 特征向量的提取。

(2)初始化(初始搜索点选择、局部最优、全局最优)。

For $T=1$:MAXITER

(3)根据公式(1)计算 mbest, 根据块匹配准则计算适应性函数值。

(4)更新局部最优 pbest, 及全局最优 gbest。

(5)根据公式(2)计算随机点。

(6)根据公式(3)更新粒子的中心向量。

End

重复计算(2)至(6)步,直到满足迭代的次数。

3 实验结果

为了验证优化算法的性能,通过图像序列每个块的平均搜索点数来对比搜索速度。实验中采用的主要参数, QCIF(176×144), SIF(352×240), 图像划分块的大小为 16×16, 运动估计搜索区域为 15×15, 块匹配准则采用 SAD(the Sum of Absolute Differences), 起点预测采用基于相邻无能运动矢量的预测方法。如果当前块的各相邻块的运动矢量相等, 则以其作为当前块运动矢量的预测值; 否则, 使用基于 SAD 值的起点预测, 分别求出当前块与其相邻块间的 SAD 值, 然后选取 SAD 最小的块的运动矢量作为预测值。该方法预测精度高, 但计算 SAD 值的时间开销大。粒子数(popsiz)为:30, 迭代代数(maxgen)为:100, 测试结果如表 1。

表 1 不同算法搜索每块的平均搜索点数

	FS 算法	3SS 算法	4SS 算法	BMQPSO 算法
Foreman	873	46	13.6	12.8
Miss American	873	46	12.7	13.3
Mobile calendar	873	46	16.8	16.6

表 1 的搜索点数反映的是算法的速度; 表 2 的匹配概率反映的是算法的准确度。4 种优化算法的搜索速度对所有测试序列表现出了很高的搜索速度, 达到了优化搜索速度的设计目标。表中数据显示, BMQPSO 算法在块匹配上与 4SS 算法相当, 但比 FS 算法、3SS 算法效果明显, 因而在对处理块的匹配搜索算法中是一种新方法的尝试。

(上接 50 页)

5 结论

本文提出了一种基于小波变换的距离特征选取规则图像融合算法。通过构造质量更差的参照图像, 计算源图像与参照图像之间小波系数的距离, 并考虑相邻像素之间的关系和一致性检测问题, 对多聚焦图像进行了成功融合。此外, 利用熵、交叉熵、均方根误差等客观评价标准对该融合算法的融合性能进行了评价与分析, 结果表明该算法的融合效果比简单小波系数平均法和基于梯度最大值法的融合效果都好, 说明该算法是成功有效的。(收稿日期:2007 年 4 月)

参考文献:

- [1] 毛士艺, 赵巍. 多传感器图像融合技术综述[J]. 北京航空航天大学学报, 2002, 28(5): 512-518.
- [2] 韩崇昭, 朱洪艳, 段战胜. 多源信息融合[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [3] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. Multisensor image fusion using the wavelet transform [J]. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(3): 235-245.
- [4] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于梯度选取规则的小波变换在图像融合中的

表 2 不同算法搜索全局最小值的匹配概率 %

	FS 算法	3SS 算法	4SS 算法	BMQPSO 算法
Foreman	91.57	87.62	88.96	89.13
Miss American	89.91	88.69	88.74	89.95
Mobile calendar	90.03	87.82	88.68	87.97

4 结论

在系统中使用 FPGA 作为逻辑控制实现图像采集, 可以提高系统的灵活性和可扩展性, 同时体现了较少的硬件复杂度, 对不同的图像输入数据, 只需对 FPGA 的缓冲取部分作修改就可重新工作。在 DSP 部分进行压缩编码, 二者能很好地并行工作, 降低了硬件调试难度。采用 BMQPSO 算法能有效降低压缩算法的计算复杂度, 在图像压缩处理中有较好的尝试应用。(收稿日期:2006 年 11 月)

参考文献:

- [1] 何小海. 图像通信[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2005.
- [2] 牛建伟, 胡建平, 毛士艺. 基于 DSP 和 FPGA 的视频编码器协同设计与算法优化实现[J]. 航空学报, 2005, 26(1): 90-93.
- [3] 朱鹏, 杜洪根, 丁文锐. 视频压缩编码器的研究与设计[J]. 信号与信息处理, 2006, 36(6): 36-38.
- [4] 赵保军, 史彩成, 毕莉, 等. 基于 FPGA 和 DSP 实现的实时图像压缩[J]. 电子学报, 2003, 31(9): 1317-1319.
- [5] Texas Instrument Co. H.263 encoder TMS320C6000 implementation [EB/OL]. <http://www.ti.com/>.
- [6] Texas Instrument Co. TMS320C6000 imaging developer kit user guide [EB/OL]. <http://www.ti.com/>.
- [7] Sun J, Xu W B. A global search strategy of quantum-behaved particle swarm optimization [C]//Proceedings of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, 2004: 111-116.
- [8] Sun J, Feng B, Xu W B. Particle swarm optimization with particles having quantum behavior [C]//Proceedings of 2004 Congress on Evolutionary Computation, 2004: 325-331.

研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(12): 76-78.

- [5] Santos M, Pajares G, Portela M, et al. A new wavelets image fusion strategy [J]. Lecture Notes in Computer Science, 2003, 2652: 919-926.
- [6] 玉振明, 毛士艺, 袁运能, 等. 基于边缘检测小波变换的图像融合研究[J]. 电子学报, 2005, 33(8): 1446-1450.
- [7] Ramesh Raskar, Adrian Ilie, Yu Jingyi. Image fusion for context enhancement and video surrealism [C]//Proceedings of the 3th International symposium on Non-photorealistic Animation and Rendering, Annecy, 2004.
- [8] Shi Wenzhong, Zhu Changqing, Yan Tian, et al. Wavelet-based image fusion and quality assessment [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 6: 241-251.
- [9] 周礼, 王章野, 金剑秋, 等. 基于 HVS 的小波图像融合新算法[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(9): 1088-1094.
- [10] 靳济芳. Visual C++小波变换技术与工程实践[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [11] Salvador Gabarda, Gabriel Cristobal. On the use of a joint spatial-frequency representation for the fusion of multi-focus images [J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26: 2572-2578.
- [12] Vladimir Petrovic. Subjective tests for image fusion evaluation and objective metric validation [J]. Information Fusion, 2005: 1-9.