

一种改进的绝对误差不等式删除算法在 DM642 上的实现

谢 敏, 乔瑞萍, 潘志斌, 李东平, 乔 阳, 张 桢

(西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 选择 TI TMS320DM642 DSP 作为实现平台, 对其视频驱动的编程开发接口进行了分析. 然后, 对于 AEI 算法进行了两方面的修正与改进: 采用“逐帧编码”技术, 将适合于静态图片的算法应用到了动态视频上; 采用“逐通道编码”技术, 将适合于灰度图像的算法应用到了彩色图像上. 以此为基础, 完成了 AEI 算法的 DSP 移植.

关键词: 矢量量化; AEI 算法; DSP; 初始匹配码字; 算法移植

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0182-04

Realization of an Improved Absolute Error Inequality Algorithm on DM642

XIE Min, QIAO Rui-ping, PAN Zhi-bin, LI Dong-ping, QIAO Yang, ZHANG Zhe

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper chooses TI TMS320DM642 DSP as the implementation platform and analysis its video driver developing interface. Then, this paper modifies the Absolute Error Inequality (AEI) algorithm from two aspects: Using the “Frame-By-Frame coding”, applies the algorithm of static image on the dynamic video. Using the “Channel-By-Channel coding”, applies the algorithm of gray image on the color image. Based on the two improved methods, we transplant the Absolute Error Inequality (AEI) algorithm of VQ on the DSP platform.

Key words: vector quantization; AEI algorithm; DSP; initial matching codeword; algorithm porting

1 引言

在数字传输系统中, 通常对待传输的信号进行信源编码. 数据压缩是信源编码的目的和手段, 它的主要任务是降低码率、减少存储空间. 矢量量化是一种有效的有损压缩技术, 其突出优点是压缩比大、解码算法简单, 它的基本原理是用码书中与输入矢量最匹配的码字的索引代替输入矢量进行传输和存储, 解码时只需要简单的查表操作. 矢量量化已在图像压缩和语音编码等领域得到了广泛的应用^[1].

近年来, 随着 DSP 技术的迅速发展, DSP 芯片的速度、性价比不断提高, 已广泛应用于控制、通信、图像等各个领域. 其中 TI 公司 TMS320DM6000 系列是主要用于图像处理方面.

文中将应用于图像压缩的绝对误差不等式删除算法(AEI)移植到应用于图像处理的 DSP6000 系列平台上面, 从而为算法的实验教学和工程应用进行了有益的探索.

2 绝对误差不等式删除算法

为了叙述 AEI^[1]算法, 先给出下面的定义及定理.

定义 1 假定码书 $C = \{y_0, y_1, \dots, y_{N-1}, \mid y_i \in R^k\}$, 其中 N 为码字个数. k 维的输入矢量 $x = (x_0, x_1, \dots, x_{k-1})^T$ 与码字 $y_i = (y_{i0}, y_{i1}, \dots, y_{i(k-1)})^T$ 之间的失真采用平方误差测度来描述, 即

$$d(x, y_i) = \sum_{l=0}^{k-1} (x_l - y_{il})^2 \quad (1)$$

收稿日期: 2009-04-13; 修回日期: 2009-07-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(60672054)

定义 2 输入矢量 x 和码字 y_i 之间下标为 l 的绝对误差分量定义为 $e_{il} = |x_l - y_{il}|$, 其中 $0 \leq l \leq k-1$.

定义 3 输入矢量 x 和码字 y_i 之间的最大绝对误差分量定义为

$$e_{i,\max} = \max_{0 \leq l \leq k-1} e_{il} = \max_{0 \leq l \leq k-1} |x_l - y_{il}| \quad (2)$$

定义 4 输入矢量 x 和码书 $C = \{y_0, y_1, \dots, y_{N-1}\}$ 中各个码字之间的最小最大绝对误差分量定义为 $e_{\minimax} = \min_{0 \leq i \leq N-1} e_{i,\max}$.

定理 1 假定目前在码书中已经找到的最佳匹配码字为 y_p , 与其对应的最小失真为 $d_{\min} = d(x, y_p)$, $0 \leq p \leq N-1$, 那么对于一个新的候选码字 y_i , 若满足

$$\sum_{l=0}^{s-1} e_{il} = \sum_{l=0}^{s-1} |x_l - y_{il}| \geq \sqrt{k \cdot d_{\min}}, \quad 1 \leq s \leq k \quad (3)$$

则 $d(x, y_i) \geq d(x, y_p)$ 成立, 这意味着 y_i 不可能是比 y_p 更好的匹配码字, 可以删除.

基于定理 1 的快速算法称为绝对误差 inequality 删除算法 (Absolute Error Inequality, AEI), 具体步骤如下:

① 计算输入矢量 x 和每个码字 y_i 之间的所有的绝对误差分量 e_{il} , $l = 0, 1, \dots, k-1$, $i = 0, 1, \dots, N-1$.

② 找出每个码字的最大绝对误差分量 $e_{i,\max}$, $i = 0, 1, \dots, N-1$.

③ 找出所有 $e_{i,\max}$ ($i = 0, 1, \dots, N-1$) 中的最小值对应的码字 y_p , 将该码字作为输入矢量 x 的初始匹配码字, 其索引为 $p = \arg \min_i e_{i,\max}$.

④ 计算当前最小失真 $d_{\min} = d(x, y_p)$.

⑤ 对于一个新的候选码字 y_i ($i = 0, 1, \dots, N-1$, $i \neq p$), 用定理 1 进行可否删除的判断. 若满足定理 1 则删除码字 y_i , 接着判断下一个码字. 否则继续用 PDS^[2] 算法判断 y_i 是否可以删除. 若 y_i 可以删除则转向判断下一个码字; 若 y_i 不能删除, 则意味着 y_i 是一个比 y_p 更好的码字, 那么对 y_p 进行 $p \leftarrow i$ 及 $d_{\min} \leftarrow d(x, y_i)$ 的更新. 算法在码书最后一个码字停止, 最终得到的 y_p 就是 x 的最佳匹配码字 y_{bm} ^[3].

3 改进的 AEI 算法 - Partial Minimax 法

Partial Minimax 法是对 AEI 算法中初始匹配码字的查找提出的一种有效的改进方法. 这种算法的主要思想是: 如果一个码字和输入矢量某一维的

绝对误差分量大于目前已经找到的最小最大绝对误差分量, 那么该码字一定不是在最小最大意义上的最佳初始匹配码字. 因此, 在计算各个码字与输入矢量的绝对误差分量时, 若某一维分量上的绝对误差已经大于当前的最小最大绝对误差分量, 对该码字就可以停止计算剩余各维的绝对误差分量而将其排除, 这样就只需要计算一部分绝对误差分量. 其具体步骤如下^[4-5]:

① 计算输入矢量 x 和码字 y_0 之间的所有的绝对误差分量 e_{0l} , $l = 0, 1, \dots, k-1$.

② 找出其中的最大绝对误差分量 $e_{0,\max} = \max_{0 \leq l \leq k-1} e_{0l} = \max_{0 \leq l \leq k-1} |x_l - y_{0l}|$, 令最小最大绝对误差分量的当前值为 $e_{\minimax} = e_{0,\max}$, 且 $p = 0$.

③ 对于其它码字 y_i , $i = 1, 2, \dots, N-1$, 从 $l = 0$ 开始, 逐维计算其与输入矢量 x 的绝对误差分量 e_{il} . 每计算一个 e_{il} , 都与当前的最小最大绝对误差分量 $e_{\minimax}$ 进行比较, 若 $e_{il} > e_{\minimax}$, 则停止计算剩余维的 e_{il} . 然后令 $i = i + 1$, 转向判断下一个码字. 若计算到第 $k-1$ 维仍然有 $e_{il} < e_{\minimax}$, 则找出该码字的最大绝对误差分量 $e_{i,\max}$, 进行 $e_{\minimax} \leftarrow e_{i,\max}$, $p \leftarrow i$ 的更新. 然后令 $i = i + 1$, 转向判断下一个码字, 直到 $i = N-1$ 为止. 这样, 最终得到的 p 值即为初始匹配码字的索引值, 初始匹配码字为 y_p .

这是因为, 如果输入矢量 x 与码字 y_i 的某一维绝对误差分量 e_{il} 大于当前的 $e_{\minimax}$, 则该码字的最大绝对误差分量 $e_{i,\max}$ 一定会大于 $e_{\minimax}$, 所以该码字不可能是初始匹配码字. 因此, 对于一个输入矢量, AEI 算法中用 Minimax 法查找初始匹配时所做的次绝对误差运算有很大一部分是没有必要的, 不做也不会影响到最小最大意义上的最佳初始匹配. 而采用 Partial Minimax 法就只须计算那些必要的绝对误差分量, 从而极大地减小了这一个步骤的计算量^[6].

4 TI TMS320DM642 DSP 平台

TMS320DM642 是一款性能强大的、专为视频应用而优化的高速数字信号处理器 (DSP), 主频 600MHz. 主要针对视频和图像处理方面的应用. 它具有 C6000 系列的超长指令字结构, 允许多个功能单元在同一周期并行执行多条指令, 除了更高的主频, DM642 还采用了第二代 VelociTI 结构, 进一步提高了并行处理能力和处理速度^[7].

文中采用 TI 原装的 DM642 开发板^[5]作为实验平台,用于评估 DSP 芯片性能,开发、分析、测试和验证基于 DM642 的数字信号处理算法和应用。板内具有丰富的设备资源,板上集成了 DM642 DSP

和 Xilinx FPGA,尤其适合作为一个快速原型平台,在系统开发的早期评估 DSP 以及相关算法能否满足应用的需求。其结构如图 1 所示。

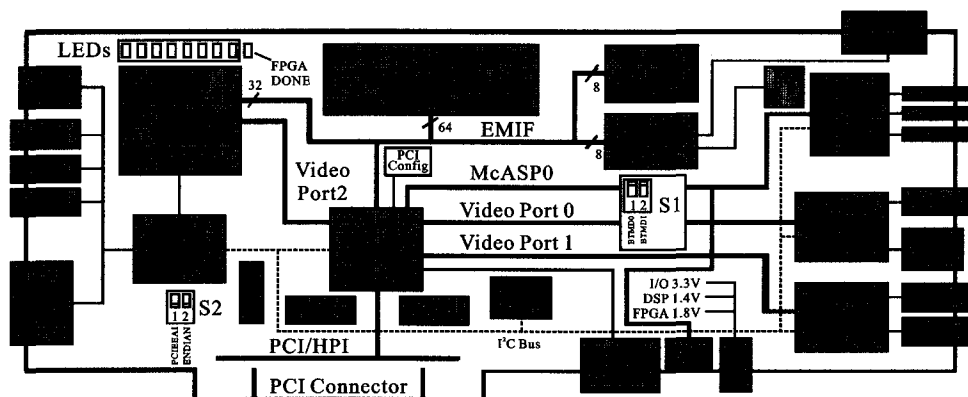


图 1 TI EVMDM642 模块图

文中采用合众达的 SEED-XDSP 仿真器用并口和 PC 机连接实现 JTAG。在 PC 端,采用 CCS2.20.18 集成开发环境。板卡的连接示意图如图 2 所示。

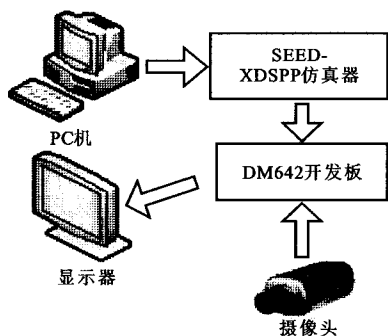


图 2 DM642 板卡连接示意图

5 系统框架

文中在 DSP 上实现一个完整的矢量量化编码、解码的实验系统。系统基于 EVM 开发版,配合摄像头与显示器,并能动态、实时地将显示器采集的视频应用 AEI 算法后显示在显示器上。系统框图如图 3 所示^[8]。

- 图像数据分块模块,将输入图像分块组成输入矢量,以备量化编码
- 矢量量化编码模块,对输入图像进行矢量量化编码,产生索引值
- 矢量量化解码模块和图像重构模块,对索引值进行解码并重构图像

文中采用 PAL 制式的摄像头作为信源,采用显

示器作为信宿,在板卡内实现索引值和解码的过程,摄像头产生标准的 PAL 制式的视频,其帧频为 25fps,每帧的分辨率为 720×576 。算法采用逐帧编码的方式,将每一个独立的帧作为一幅单独的图像整体进行编码,实现算法从静态到动态的移植,将每一幅图分成 25920 块产生输入矢量,接收端接收这 25920 块的索引值,然后重建图像。摄像头采进来的为彩色图像,文中采用 RGB565 格式将图像分成 R、G、B 三个通道分别处理,接收端再将三个通道合成还原彩色图像。

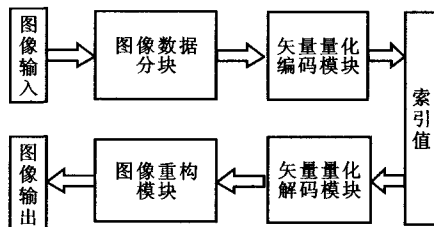


图 3 实验系统框图

6 实验结果

文中采用峰值信噪比 (PSNR) 衡量原始图像与重构图像之间的失真。

对一幅尺寸为 $M \times N$, 灰度等级为 L 的图像, 原始图像像素为 x_{ij} , 而重构图像像素为 y_{ij} , $0 \leq i \leq M-1, 0 \leq j \leq N-1$, 则:

$$\text{PSNR} = 10 \times \log_{10} \frac{(L-1)^2}{\text{MSE}} \quad (4)$$

其中, MSE 为均方误差, 定义为:

$$\text{MSE} = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x_{ij} - y_{ij})^2}{M \times N} \quad (5)$$

实验中分别采用 $4 \times 4 \times 64$ 的码书, $4 \times 4 \times 128$ 的码书和 $4 \times 4 \times 256$ 的码书, 即码字的维数为 16, 码书的尺寸分别为 64、128、256. 实验分别采用三种尺寸的码书, 重构图像的 PSNR 值见表 1. 可以看出, 码书的尺寸越大, 重构图像的失真越小.

表 1 重构图像的失真 PSNR

码书尺寸	PSNR
64	27.05 dB
128	27.39 dB
256	27.89 dB

文中在研究了 AEI 算法和 DM642 板卡的基础上将矢量量化算法与 DSP 平台相结合, 成功完成将 AEI 算法向 DM642 板卡的移植, 实现了视频的实时性处理. 并验证了矢量量化技术和 DSP 在视频和图像处理方面的性能, 取得了较为理想的结果.

参考文献:

- [1] 孙圣和, 陆哲明. 矢量量化技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] Bei C D, Gray R M. An improvement of the minimum dis-

tortion encoding algorithm for vector quantization[J]. IEEE Transactions on Communications, 1985, 33(10): 1132-1133.

- [3] 王婷婷, 乔瑞萍, 潘志斌, 等. 基于 DM642 的矢量量化算法研究及应用[C]// TI DSP 大奖赛论文集. USA: TI 公司, 2008: 143-161.
- [4] 李东平, 潘志斌, 乔瑞萍, 等. 一种改进的 AEI 算法中初始匹配码字的快速查找方法[J]. 中国图像图形学报, 2009, 14(9): 1808-1812.
- [5] 乔阳, 潘志斌, 乔瑞萍, 等. 基于 Hadamard 变换和自适应顺序搜索的码字快速搜索算法[J]. 微电子学与计算机, 2009.
- [6] Texas Instruments. Video driver examples for DM642 EVM demonstration software release report (SPRA932a) [M]. USA: Texas Instruments Incorporated, 2003.
- [7] Texas Instruments. TMS320C64X DSP Video Port/VCX-O Interpolated Control (VIC) port reference guide [M]. USA: Texas Instruments Incorporated, 2003.
- [8] Texas Instruments. TMS320DM642 technical overview (SPRU615) [M]. USA: Texas Instruments Incorporated, 2002.

作者简介:

谢敏 男, (1982-), 硕士研究生. 研究方向为矢量量化算法的研究及其在 DSP 上的实现.

(上接第 181 页)

多都是基于实验的. 但蚁群算法将像其它的智能算法一样, 越来越多的被应用到更多的领域.

参考文献:

- [1] 朱庆保, 杨志军. 基于变异和动态信息素更新的蚁群优化算法[J]. 软件学报, 2004, 15(2): 185-192.
- [2] Stutzle T, Hoos H H. MAX-MIN ant system and local search for the traveling salesman problem[C]// IEEE Int'l Conf. on Evolutionary Computation. Indianapolis: IEEE Press, 1997: 309-314.
- [3] Tsai C F, Tsai C W. A new approach for solving large traveling salesman problem using evolution ant rules[C]// Neural Networks, IJCNN 2002, Proc. of the 2002 Int'l Joint Conf. on. Honolulu: IEEE Press, 2002: 1540-1545.
- [4] 吴斌, 史忠植. 一种基于蚁群算法的 TSP 问题分段求解

算法[J]. 计算机学报, 2001, 24(12): 1328-1333.

- [5] 郭俊恩, 王士同, 徐红林. 基于蚁群遗传算法的氨基酸序列比对方法[J]. 计算机应用, 2007, 27(6): 1434-1437.
- [6] Dorigo M, Caro G D. Ant colony optimization: A new meta-heuristic[C]// Proc. of the 1999 Congress on Evolutionary Computation. Washington: IEEE Press, 1999: 1470-1477.
- [7] 徐克奇. 蚁群优化算法在电镀试验台作业调度的应用[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(12): 210-212.
- [8] 郭新华, 蒋艳, 曹建霞. WSN 中动态自适应蚁群路由算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(12): 157-160.

作者简介:

陶利民 男, (1975-), 讲师, 博士研究生. 研究方向为人工智能、网络计算.

郭俊恩 男, (1978-), 硕士, 讲师. 研究方向为人工智能.