

文章编号:1007-2780(2009)02-0262-06

基于 IWT 图像压缩技术的 LED 同步显示系统设计

何 伟,俞 立,董 辉

(浙江工业大学 信息工程学院,浙江 杭州 310014, E-mail: hewei5198@yahoo.com.cn)

摘 要: 在全彩 LED 大屏幕同步显示系统中,存在图像的实时显示与通信带宽之间的矛盾。文章采用整数小波变换(IWT)算法进行图像压缩后传输,大幅减小了通信量。由于 IWT 算法仅含有整数加减和移位运算,避免了当前大多数图像压缩解压算法需要复杂的浮点型运算的缺陷,从而可以在显示屏控制器中实现图像的快速解压。实验表明,此算法可以得到较好的图像压缩效果,VLSI 硬件设计只占用很少的系统逻辑单元,同时可达到很快的图像重构速度,能够满足同步屏图像实时显示的要求。

关 键 词: 整数小波变换;图像压缩;LED 显示屏;FPGA
中图分类号: O753.2 **文献标识码:** A

1 引 言

LED 显示屏具有可靠性高、使用寿命长、成本低及环境适应能力强等特点,广泛应用于公共场所的信息显示和广告宣传。对于全彩同步 LED 显示屏而言,为了实现图像的同步显示,需要很大的通信带宽,才能保证实时提供庞大的图像数据,普通的串口或网络通信难以满足图像同步显示的要求。有些系统采用多个网口并行传输以增加带宽,另外有些采用了高速网络甚至光纤通信^[1],这些方案虽然可以解决图像数据的传输问题,但都需要较高的成本。而采用图像压缩后再传输则可以大幅减少通信的压力,是 LED 显示屏实现图像同步显示的更为合适的解决方案。LED 显示屏控制器一般采用可编程逻辑器件设计^[2],采用合适的解压算法在可编程逻辑器件上实现图像的快速重构是控制器设计中亟需解决的关键问题。

经典的无损压缩方法如霍夫曼编码、算术编码等没有考虑图像数据本身相关性的特点,图像数据编码率较低,难以满足现代图像处理的要求。20 世纪 80 年代中后期发展起来的小波变换虽然可以实现图像高低频信号分离,但由于变换系数是实数,存放系数需要大量的内存空间,且浮点计算效率较低,所以难以在实际工程中推广应用^[3]。20

世纪 90 年代中期提出的整数小波变换又称第二代小波变换,与第一代小波变换相比,具有以下优点:变换的系数是整数,变换过程仅含有对整数的移位和加减运算,节省了硬件开销,提高了计算速度;逆变换只需简单地改变代码的执行顺序,具有与正向变换相同的计算复杂度;原始信号可被它的小波系数所替代,不需要额外的存储空间,非常适合于在可编程逻辑器件中实现。因此,整数小波变换在图像压缩存储和传输领域得到了广泛的应用^[4]。

采用提升方案可对 Haar 小波进行提升处理,得到整数 Haar 小波正、反变换公式。本系统先通过整数 Haar 小波变换进行图像压缩,然后在显示屏控制器中使用 VLSI 设计整数 Haar 小波反变换算法,用于实现图像的解压重构。编译仿真结果表明:整个反变换过程只需占用很少的系统资源,能在大多数 CPLD 或 FPGA 器件中实现,很快的变换速度可以满足较大面积同步屏数据处理速度的需求,具有很好的工程应用价值。

2 整数小波变换

1994 年,Sweldens 提出了一种新的小波构造方法——提升方案(Lifting Scheme),即第二代小波变换,也称(整数到)整数小波变换([Integer-To-]Integer Wavelet Transform, [IT]IWT)^[5]。

2.1 提升方案原理

对原始信号(数据集) s_j ,提升后得到低分辨率信号 s_{j-1} 和细节信号 d_{j-1} 。提升方法的实现分为分裂(Split)、预测(Predict)和更新(Update)^[6]3个步骤:

(1) 分裂

将原始信号 s_j 分裂为两个较小的子集 s_{j-1} 和 d_{j-1} ,使其交为空集。常用的方法就是将 s_j 分为偶数、奇数两序列,即

$$\text{split}(s_j) = (\text{even}_{j-1}, \text{odd}_{j-1}) = (s_{j-1}, d_{j-1}) \quad (1)$$

(2) 预测

利用原始数据相关性由 s_{j-1} 去预测子集 d_{j-1} ,即 $d_{j-1} = P(s_{j-1})$ 。预测算子 P 反映了数据相关结构的模型。实际应用中,预测值 $P(s_{j-1})$ 很可能接近 d_{j-1} ,这样就可由 d_{j-1} 与 $P(s_{j-1})$ 的差值来代替 d_{j-1} ,即

$$d_{j-1} := d_{j-1} - P(\text{even}_{j-1}) = d_{j-1} - P(s_{j-1}) \quad (2)$$

(3) 更新

由于预测一般不能保持原始数据集 s_j 中的某些整体性质,如图像处理中要求子图像 s_{j-1} 保持原有图像的亮度,即像素平均值不变,但分裂和预测继续到 s_{j-n} 仅含一个像素时,它是原图像中的任意像素值,而不是总体平均值,故需更新。为此要构造一个更新算子 U 去更新 s_{j-1} :

$$s_{j-1} := \text{even}_{j-1} + U(d_{j-1}) = s_{j-1} + U(d_{j-1}) \quad (3)$$

信号的重构过程为分解过程的反向运算。图1

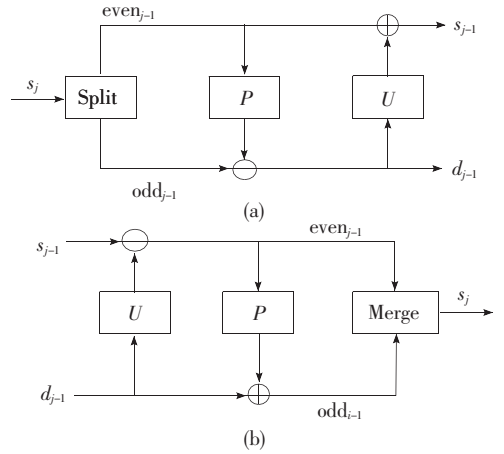


图1 提升方案模型框图。(a)分解过程;(b)重构过程。

Fig. 1 Diagram of lifting scheme model. (a) Decomposition process; (b) Reconstruction process.

为提升方法进行小波分解和重构过程示意图。

2.2 Haar 小波提升原理

取预测函数:

$$P_k(e_{j-1}) = e_{j-1,k} = s_{j,2k} \quad (4)$$

更新函数:

$$U_k(d_{j-1}) = d_{j-1,k}/2 \quad (5)$$

在算子 P 和 U 作用于数据后,进行取整运算,同时考虑数据集长度 N 分别为奇数或者偶数时的边界处理,便可构造出基于提升算法的整数 Haar 小波变换公式^[7],其分解式(6)和重构式(7)如下(其中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整运算):

$$\left. \begin{aligned} d_{j-1,k} &= O_{j-1,k} - P_k(e_{j-1}) = s_{j,2k+1} - s_{j,2k} \\ s_{j-1,k} &= e_{j-1,k} + U_k(d_{j-1}) = s_{j,2k} + \lfloor d_{j-1,k}/2 \rfloor \\ d_{j-1,k} &= s_{j,2k+1} - s_{j,2k} \\ s_{j-1,k} &= s_{j,2k+1} + \lfloor d_{j-1,k}/2 \rfloor \\ s_{j-1,k} &= s_{j,N-1} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &(k = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N-1}{2} - 1) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N-1}{2} - 1) \\ &(k = \frac{N-1}{2}) \end{aligned} \left. \begin{aligned} &(N \text{ 为偶数}) \\ &(N \text{ 为偶数}) \\ &(N \text{ 为奇数}) \\ &(N \text{ 为奇数}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{j-1,k} &= s_{j-1,k} - U_k(d_{j-1}) = s_{j-1,k} - \lfloor d_{j-1,k}/2 \rfloor \\ o_{j-1,k} &= d_{j-1,k} + P_k(e_{j-1}) = d_{j-1,k} + e_{j-1,k} \\ e_{j-1,k} &= s_{j-1,k} - \lfloor d_{j-1,k}/2 \rfloor \\ e_{j-1,k} &= s_{j-1,k} \\ o_{j-1,k} &= d_{j-1,k} + e_{j-1,k} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &(k = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N}{2} - 1) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N-1}{2} - 1) \\ &(k = \frac{N-1}{2}) \\ &(k = 0, \dots, \frac{N-1}{2} - 1) \end{aligned} \left. \begin{aligned} &(N \text{ 为偶数}) \\ &(N \text{ 为偶数}) \\ &(N \text{ 为奇数}) \\ &(N \text{ 为奇数}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

3 同步 LED 显示系统设计

采用了压缩算法之后的同步 LED 显示系统总体结构如图 2 所示。为了在降低通信带宽的同时保证图像同步显示,必须采用快速的图像压缩解压算法。本系统在上位机先对图像进行整数 Haar 小波变换,对变换结果采用阈值量化后进行行程编码,得到压缩图像传给 LED 显示屏。显示

屏控制器对接收的数据进行行程解码,然后再进行整数 Haar 小波反变换重构出原始图像,输出至 LED 显示屏显示。设计中采用了多网口通过物理层直接传输数据的通信方式,可实现通信带宽的最大利用。采用行程编码的方式,计算简单可以实现通信和编解码同步进行。本系统设计的关键在于可编程逻辑器件中图像快速解压算法的实现。

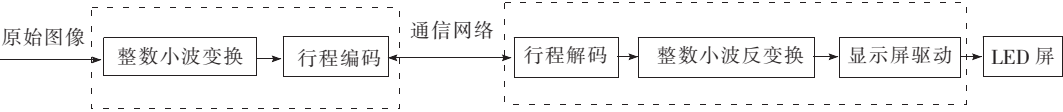


图 2 同步显示系统结构框图
Fig. 2 Block diagram of synchronization display system

3.1 显示屏控制器双 RAM 结构设计

LED 显示屏控制器结构如图 3 所示,外部存储器设计为 2 块双端口 RAM。从通信接口接收到压缩图像后进行同步解码,结果缓存到其中一块 RAM 中,接收完一帧图像后,立刻进行整数小波反

变换重构出原始图像。另外一块 RAM 中存储上一帧已经解压出来的图像,控制器读取其中的数据,经过驱动单元的灰度调制后输出至 LED 显示屏显示^[8]。2 块 RAM 功能轮流切换,通信解压与灰度图像显示同步并行处理,可大幅提高工作效率。

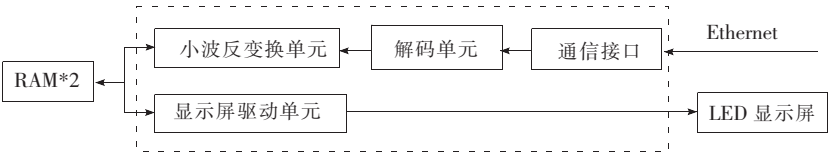


图 3 LED 显示屏控制器结构图
Fig. 3 Block diagram of LED display screen controller

3.2 整数 Haar 小波反变换算法设计

整数 Haar 小波反变换算法的 VLSI 原理图如图 4 所示。其中 sreg 用于锁存输入数据;a_shift_r 模块完成算术右移一位运算,效果等同于除以 2 运算却只需占用较少的资源;add 和 sub 分别完成算术加法和算术减法运算;datainLF、

datainHF 分别是低频、高频输入数据;dataoutEven、dataout-Odd 分别是计算结果序列中的偶数位置和奇数位置数据。从图中可以看出运算关系:

$$\begin{aligned} \text{dataoutEven} &= \text{datainLF} - \text{datainHF} / 2 \\ \text{dataoutOdd} &= \text{datainHF} + \text{dataoutEven} \end{aligned}$$

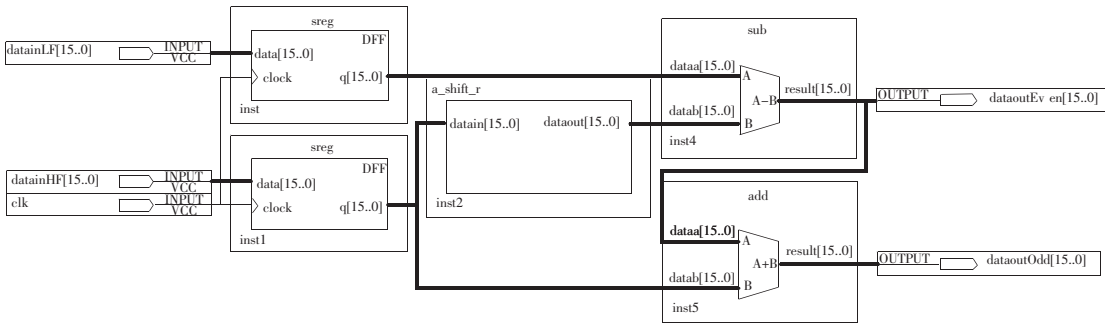


图 4 整数 Haar 小波反变换算法 VLSI 原理图
Fig. 4 VLSI schematic diagram of integer Haar wavelet inverse transform algorithm

3.3 整数 Haar 小波反变换控制器设计

整数 Haar 小波反变换控制器结构如图 5 所示。其中 HaarIdwt 模块完成整数 Haar 小波反变换提升格式运算;rd_ram 模块先按列变换方式读取高、低频数据,提供 haarIdwt 模块进行小波反变换;wr_ram 将转换结果写入 RAM 中缓存,列变换结束后再采用类似的方式进行行变换。对

于奇数边界的图像,在边界处 rd_ram 模块将 highFreq 数据置为 0,则: $dataoutEven = datainLF - datainHF/2 = datainLF$,wr_ram 模块丢弃 odd 数据而只处理 even 数据,即可保证变换结果与公式(7)一致。对于多级小波反变换,rd_ram 和 wr_ram 对上一次变换结果继续进行列、行变换,一直到完全重构出原始图像为止。

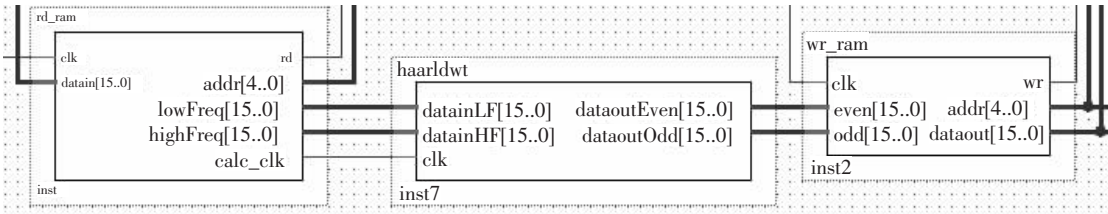


图 5 整数 Haar 小波反变换控制器 VLSI 原理图

Fig. 5 VLSI schematic diagram of integer Haar wavelet inverse transform controller

4 仿真与分析

在 Matlab 中对 256×256 的 Lena 灰度图像进行整数 Haar 小波变换,阈值量化后对变换结果进行行程编码,取不同的小波变换等级和量化阈值时图像压缩结果如表 1 所示。

从表 1 中数据可见:随着量化阈值增大,图像压缩比提高,但是图像的均方根误差也增大,即图像的恢复质量下降;随着小波变换等级提高,图像压缩比提高很快,均方根误差变化不大。因此提高小波变换等级对于提高压缩比和图像恢复质量有好处,但是考虑图像重构时间不能太长,所以变换等级也不宜取得太高。对 Lena 图像进行 2 级整数 Haar 小波变换,分别取阈值 20、40 进行压缩后再恢复的图像效果如图 6 所示。

表 1 整数 Haar 小波变换图像压缩结果

Table 1 Image compression result of integer Haar wavelet transform

Haar 小波变换级数	阈值	压缩比 CR	均方根误差 erms
1 级变换	$\delta=0$	1.730 7	0
	$\delta \leq 5$	0.976 0	1.488 7
	$\delta \leq 20$	0.607 3	4.150 7
	$\delta \leq 40$	0.493 6	6.476 6
	$\delta=0$	1.738 5	0
2 级变换	$\delta \leq 5$	0.821 7	2.124 4
	$\delta \leq 20$	0.343 4	6.090 3
	$\delta \leq 40$	0.185 6	9.954 9



图 6 整数 Haar 小波变换图像压缩和解压效果

Fig. 6 Image compression and decompression effect of integer Haar wavelet transform

在 Quartus II 下对整数 Haar 小波重构算法进行编译综合,结果表明整个重构过程的 VLSI

设计只占用了 194 个逻辑单元,且系统时钟频率可以达到 66.33 MHz。

Design of LED Synchronization Display System Based on IWT Image Compression Technology

HE Wei, YU Li, DONG Hui

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology,
Hangzhou 310014, China, E-mail: hewei5198@yahoo.com.cn)

Abstract

There is an inconsistency between real-time display and communication bandwidth in the full color LED large-scale screen synchronization display system. The image compression method with integer wavelet transform(IWT) algorithm used in this paper could greatly decrease the cost of data transmission. The IWT algorithm which only involves integer addition, subtraction and shift operation, avoids the deficiency of complicated floating-point operation in most current image compression and decompression algorithms, so it could be applied to the display screen controller to decompress image rapidly. The experiment shows that excellent image compression effect is achieved with this algorithm and only few logic elements are consumed in VLSI hardware design. At the same time, rapid image reconstruction speed meets the requirement of image real-time display in synchronization LED display screen.

Key words:integer wavelet transform; image compression; LED display screen; FPGA

作者简介:何伟(1984—),男,安徽庐江人,硕士研究生,研究方向为嵌入式系统及其应用。



《液晶与显示》投稿指南

《液晶与显示》投稿方式为网上投稿。网上投稿便于您随时查询稿件的处理情况,方法为:登录本刊网站 <http://www.yjyxs.com>,进入“作者投稿”栏目,在线注册投稿。注册时“用户名”和“口令”由您设定,登录后按“提示”进行操作即可。稿件请用 Word 完成,采用通栏排版,以便专家网上审理。

《液晶与显示》稿件发表的正常周期为 3~6 个月,缩短论文发表周期是学术论文的社会效益尽早实现的重要条件,而满足《液晶与显示》征稿简则,特别是第 3 项中(1)~(7)的要求,是稿件可以尽早编辑加工的必要条件。因此,您若希望论文能够早日发表,请您务必按“简则”写稿。

若您的稿件附有同行专家评语及单位推荐信,则您的稿件将优先发表,也欢迎您推荐 2~3 名审稿专家;同时,本刊更欢迎国家各重大科技攻关项目和基金课题产出的自主创新性文章。

《液晶与显示》稿件发表含印刷版、电子版和网络版,对版权有特殊要求者,请事先声明。