

基于提升小波的图像去噪算法的 FPGA 设计

FPGA Design of Image De-Noising Algorithm Based on Lifting Wavelet

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院) 李娜^{1,2} 刘艳滢¹

LI Na LIU Yan-ying

摘要: 在图像处理中,基于离散小波变换的提升算法比传统的卷积算法运算简单、实时性好、易于实现,因而被图像去噪所采用。本文介绍了提升小波的基本原理,以及把提升小波应用于图像去噪的算法,并且给出了一种适合 FPGA 实现的硬件结构。对于提升后的图像,采用门限法进行去噪。仿真实验的结果表明,该方法不仅可以有效地去除原始图像中的噪声,而且能够保留原始图像的局部特征。

关键词: 图像去噪;提升小波;FPGA

中图分类号: TP274+.2 **文献标识码:** A

Abstract: In image processing, the lifting scheme based on discrete wavelet transform is simpler in operation than the traditional convolution algorithm. For its good real-time characteristics and easy realization, it has been adopted by image de-noise. This paper introduces the theory of lifting wavelet and the application of lifting wavelet to image de-noising algorithm and proposes a architecture of Lifting Wavelet transform by FPGA. After the Lifting Wavelet transform, the noise in image is eliminated by using threshold wavelet method. The results of simulation experiment shows that this method could not only effectively eliminate the noise in the primary image but also could retain partial features of the primary image.

Key words: Image De-Noising; Lifting Wavelet; FPGA

1 引言

由于在低照度的情况下 CCD 相机的输出图像含有大量噪声,而且光照越弱,图像中噪声越大,严重影响了图像的质量,因此对低照度 CCD 图像进行去噪处理非常必要。基于小波变换进行去噪是一种非常有效的方法,由于它具有良好的时频局部特性和多分辨率分析特性,使小波变换在语音、图像、通信等领域都有应用。提升方法不仅具有传统小波多分辨率的优点,而且在构造上不再涉及频域计算。相对于传统小波,提升小波的所有运算都在空间域完成,易于硬件实现,在数字图像处理中得到广泛的应用。

2 提升算法的基本原理

小波提升算法的基本思想是通过基本小波逐步构建出一个具有更加良好性质的新小波,其实现步骤分为三步:

(1) 分裂

假设有一输入序列 X , 首先将其分割为两个子部分: Y_0 和 Y_1 。采用奇偶采样的方式进行分割,使两个子序列具有强相关性: $(Y_0, Y_1) = X$

(2) 预测

用序列 Y_0 预测 Y_1 , 设预测算子为 $P(\cdot)$, 预测过程为: $\hat{Y}_1 = P(Y_0)$, 尽管很难用 Y_0 完整地预测 Y_1 , 但是 $P(Y_0)$ 确实可以很接近 Y_1 , 用二者之间的差来代替 Y_1 : $Y_1 = \hat{Y}_1 - P(Y_0)$

(3) 更新

在经过上述分割、预测的步骤以后, Y_0 的一些统计量(如均值)会相对 X 出现变化,所以在预测步骤之后,需要对 Y_0 进行

更新,使其统计量与原始数据相同。设计更新算子 $U(\cdot)$, 用 Y_0 来更新 Y_0 : $Y_0 = \hat{Y}_0 + U(Y_1)$

提升小波变换的逆变换只需要把分解过程逆转。逆过程也分为三个阶段:恢复更新、恢复预测和合并。

5/3 提升小波变换公式如下:

假设图像数据为 $X_{i,j}$, $0 \leq i, j \leq N-1$ 于是有行变换后数据 $Y_{i,j}$ 满足:

预测: $Y_{i,2j+1} = -0.5[X_{i,2j} + X_{i,2j+2}] + X_{i,2j+1}$ —— 高频分量 H

更新: $Y_{i,2j} = 0.25[Y_{i,2j-1} + Y_{i,2j+1}] + X_{i,2j}$ —— 低频分量 L

为了达到较好的效果,对图像数据要进行二维多层提升小波变换,即对于每一层图像首先进行行变换,然后进行列变换,具体分解层数由实际图像决定,本文分解层数为两层。每一层二维变换完成后,都将得到四个分量,即 HH, HL, LH, LL。如果要进行多层分解,就要将输出的 LL 分量输入到下一级二维离散小波变换模块中进行分解,得到四个子带 HH1, HL1, LH1, LL1, 其中 LL1 可以送入下一级继续分解,每层的其余三个分量用于阈值去噪。

3 图像去噪算法

3.1 门限法

小波去噪的根本任务是在小波域将信号的小波变换与噪声的小波变换有效的分离。将带有噪声的数据通过小波变换展开成小波系数,然后通过门限方法处理高频的小波系数,最后把去噪后的小波系数经过小波逆变换重建未知信号的逼近。

门限法去噪的主要理论依据是:小波变换能够使信号的能量在小波域集中在一些大的小波系数中,而噪声的能量却分布于整个小波域内。因此,经小波分解后,信号的小波系数幅值要大于噪声的系数幅值,可以认为,幅值较大的小波系数一般以

信号为主,而服之比较小系数在很大程度上是噪声。于是处理时可以对较小的小波系数置零或收缩,对大幅值小波系数则可保持其值不变,达到抑制噪声的作用。具体地,就是对待处理图像小波系数取门限 T 做软门限或硬门限收缩。

$$(1) \text{软门限: } W_T = \begin{cases} \text{sgn}(W)(|W|-T), & |W| \geq T \\ 0, & |W| < T \end{cases}$$

$$(2) \text{硬门限: } W_T = \begin{cases} W, & |W| \geq T \\ 0, & |W| < T \end{cases}$$

式中, W 表示小波系数的数值, W_T 表示经过门限去噪后的阈值; $\text{sgn}()$ 是符号函数, 当数值大于零, 符号为正, 反之则为负。

对于二维提升小波变换, 阈值去噪是对它的三个分量 HH, LH, HL 进行处理, 即对每一层的三个分量分别处理, 处理效果的好坏主要取决于阈值的选取。具体步骤如下:

(1) 对图像数据进行二维提升小波变换, 得到各层, 各分量变换系数;

(2) 对不同层不同分量 j 的系数集合, 确定门限 T_j ;

(3) 利用各尺度门限进行门限处理;

(4) 用门限处理后的小波系数做提升小波反变换, 得到去噪后的图像数据。

4 FPGA 实现

4.1 总体框图

在本系统中, FPGA 大体上可分为图像采集控制模块、SRAM 读/写控制模块、图像处理模块和显示控制模块等四个部分。首先, FPGA 控制将输入数字视频图像存入 SRAM 中, 然后从 SRAM 中读取数据进行预处理, 处理后的图像数据经 D/A 转换成标准视频信号输出。系统的总体框图如图 1 所示。

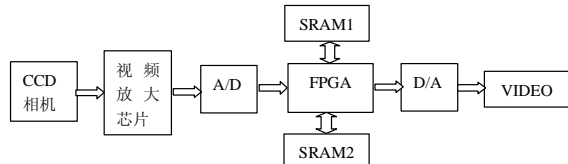


图 1 系统总体框图

当系统开始采样时, FPGA 在此后到来的第一帧同步信号到来时启动采样, FPGA 将采集到的数字视频信号存入 SRAM1 中, 采样结束后开始处理过程, 同时开始采集下一帧图像并保存到 SRAM2 中。当第二帧数据采集完成后, 要把第一帧数据处理完并输出。

其中 SRAM 要分成两个区域, 一个区域有存放原始图像数据, 另一个区域存放提升变换后的数据, SRAM 内部使用状况如图 2 所示。

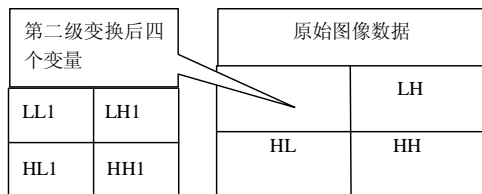


图 2 SRAM 内部存储状态

对于 SRAM 中原始数据的读取顺序是先读取 0, 1, 2 列, 然后读取 2, 3, 4 列, 以此类推。每次读取三列数据送入图像处理模块。

4.2 图像处理模块

下面详细介绍一下 FPGA 中的图像处理模块。它是实现提

升小波去噪功能的核心部分, 其中提升小波模块的结构图如图 3 所示。

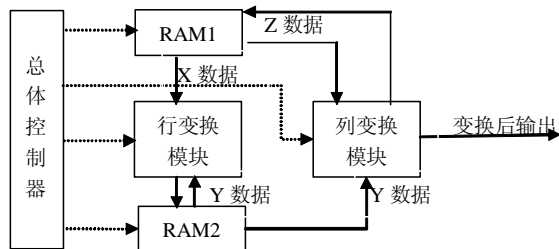


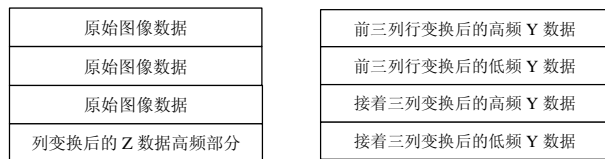
图 3 提升小波模块

关于上图有以下说明:

(1) 总体控制器负责给 RAM1, RAM2 和行列变换模块发送控制信号, 告诉它们何时开始工作。

(2) RAM1 用来存储原始图像数据和二维变换后的数据, RAM2 用来存储变换过程中间变量和行变换后的数据。行变换模块接收 RAM1 提供的 X 数据和 RAM2 提供 Y 数据进行行变换并将变换后数据存入 RAM2 中, 列变换模块接收 RAM2 提供的 Y 数据和 RAM1 提供的 Z 数据进行列变换, 并将完成变换后数据输出。

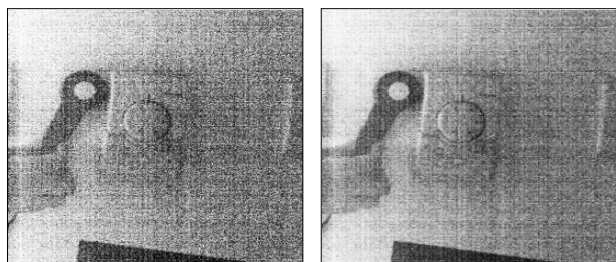
(3) 为了合理利用 FPGA 的内部资源, 要使 RAM1 和 RAM2 的大小取得合适。RAM1 是长度为四列图像数据的双口 RAM (存放三列图像数据和变换后的一列 Z 数据), 由于计算 RAM1 中的图像数据的小波行变换低频部分需要用到前面三列行变换的高频部分, 列变换模块也要用到 Y 数据, 所以 RAM2 也是长度为四列图像数据的双口 RAM (两列用来存放前三列变换后的 Y 数据, 另两列存放接下来的三列变换后的 Y 数据), RAM2 的结构设计相当于一个缓存, 使提升小波模块有足够的时间处理数据, 具体的内部结构如图 4 所示。



(a) RAM1 内部结构

(b) RAM2 内部结构

图 4 RAM1 和 RAM2 的内部结构



(a)

(b)

图 5 MATLAB 仿真效果图

(4) 将完成行列变换后的数据存入 SRAM 中, 分别存入 LL, LH, HL, HH 块中, 把 LL 中的数据重新送到小波模块中分解, 然后对 LH, HL, HH 中的数据进行阈值处理, 并把处理后的数据重新存入其原来的位置。

小波分解与阈值去噪完成后, 就要进行小波重构, 重构的图像就是去噪后的图像。

(下转第 95 页)

的单片机网络控制系统;

2、系统网络拓扑结构采用总线型;

3、网络接口电路采用端口转发的形式;

4、使用开发工具 Keil 7.0 的汇编器汇编 8051 程序,并对 AT89S52 内存的使用详细规划。此系统设计解决了 8 位单片机多机通信的问题。

项目经济效益:20 万元。此系统设计了一个基于网络控制和管理的控制系统,能实现对环境温度、照明线路等的监控,能以独立或者网络远程的控制方式对各客户机进行控制。效益显著。

参考文献

[1](美)Christa Anderson,Mark Minasi.Mastering Local Area Networks [M].出版社 Sybex,1999.

[2]江晓安,董秀峰.模拟电子技术[M].西安电子科技大学出版社,2008.

[3]张永瑞,杨林耀,张雅兰.电路分析基础[M].西安电子科技大学出版社,2005.

[4]Barry B.Brey.Programming the 80286,80386,80486,and Pentium-Based Personal Computer[M].电子工业出版社,1998.

[5]汤子瀛,哲风屏,汤小丹.计算机操作系统[M].西安电子科技大学出版社,2005.

[6]江晓安,董秀峰,杨颂华.数字电子技术[M].西安电子科技大学出版社,2002.

[7]周明德.微型计算机系统原理及应用[M].清华大学出版社,2007.

[8]林雪梅等.单片机多机通信协议的设计[J].微计算机信息,2006.2-2:24-26

[9]张鲁国.智能卡操作系统中存储管理设计[J].微计算机信息,2005.8-3:18-19

[10]彭佳文等.一种单片机多机通信系统的设计[J].微计算机信息,2008.1-2:131-133

作者简介:赵虹(1971.12),女,汉,湖南长沙人,中南大学湘雅二医院高级工程师,硕士,研究方向:单片机、计算机网络、数据挖掘。

Biography: ZHAO Hong (1971.12-), Female, Han, engineer, master. direction of research is Single-chip Microcomputers, networks and data mining

(410011 湖南长沙 中南大学 湘雅二医院信息中心) 赵虹

(410128 湖南长沙 湖南农业大学 信息科学技术学院) 曹晓兰

(410205 湖南长沙 湖南长沙威胜电子有限公司) 姚志成

(Information Department, The Second Xiang Ya Hospital of Central South University, ChangSha 410011, China) ZHAO Hong (College of Information Science Technology, HNAU, Changsha 410128, China) CAO Xiao-lan

(Hunan Changsha Weisheng Electronics Co., Ltd., ChangSha, 410205, China) YAO Zhi-cheng

通讯地址:(410011 湖南长沙 中南大学湘雅二医院信息中心)

赵虹

(收稿日期:2009.04.03)(修稿日期:2009.05.05)

(上接第 165 页)

Biography: PANG Shuang-de (1982-), female, postgraduate student of Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. Major in digital image processing based on FPGA.

(130033 吉林长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究

所) 庞双德 刘艳滢

(100049 北京 中国科学院研究生院) 庞双德

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Jilin Changchun 130033, China) PANG Shuang-de LIU Yan-ying

(Graduate School of Chinese Academy of Sciences 100049, China) PANG Shuang-de

通讯地址:(130033 长春市经济技术开发区营口路 20 号 长春光机所研究生公寓 D 座 617) 庞双德

(收稿日期:2009.04.03)(修稿日期:2009.05.05)

(上接第 167 页)

5 MATLAB 仿真结果

为了验证本文去噪算法的有效性,对大小为 1024×1024 的含噪图像在 matlab 中进行了仿真(采用 5/3 提升小波,收缩阈值 $T=3\sigma$),如图 5 所示,其中(a)为原始含噪图像(b)为去噪后图像。可以看出经去噪后,图像质量有了一定的改善。

本文作者创新点:实现了一种快速的提升小波的 FPGA 实现方法。

参考文献

[1]永学,陈丽霞,钟正斌.提升小波变换在信号去噪中的应用[J].石油仪器,2007,21(1):80-82.

[2]孟军,魏同立.一种新型基于提升算法的二维离散小波变换结构的实现[J].电路与系统学报,2003,8(6):139-142.

[3]刘军伟,饶妮妮.提升小波变换的 FPGA 设计与实现[J].微计算机信息,2005,11-2:132-134

[3]孙延奎.小波分析及其应用[M].北京:机械工业出版社,2005.

[4]陈武凡.小波分析及其在图像处理中的应用[M].北京:科学出版社,2002.

作者简介:李娜(1983-),女,中科院长春光机所硕士研究生。主要研究方向:数字图像处理;刘艳滢(1965-),女,中科院长春光机所研究员,硕士生导师,研究方向:数字图像处理。

Biography: LI Na (1983-), female, study in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. The profession is the study of The Digital Image Processing.

(130033 吉林长春 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所) 李娜 刘艳滢

(100039 北京 中国科学院研究生院) 李娜

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China) LI Na LIU Yan-ying

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China) LI Na

通讯地址:(130033 长春市经济技术开发区东南湖大路 16 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 图像室) 李娜

(收稿日期:2009.04.03)(修稿日期:2009.05.05)

《PLC 技术应用 200 例》将出版,
每册定价 55 元(含邮费),汇至

地址:北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室
微计算机信息 邮编:100081
电话:010-62132436 010-62192616(T/F)