

抗噪 Roberts 算子边沿检测器

毕卓^{1,2}, 韩冰¹

(1. 上海大学微电子研究与开发中心, 上海 200072;

2. 上海大学机电工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 图像边缘检测是图像分割、目标识别、区域形态提取等图像分析技术的基础。边沿检测的软件实现有很多方法, 但其一般无法保证在低成本计算平台上的实时性。因此文中基于形态学滤波和 Roberts 边沿检测算法提出一组数字电路, 用以实现低成本、实时图像边沿检测器。文中还对比了 Roberts 算子的 Matlab 上实现和硬件实现的实际效果, 发现实际硬件的边沿检测精度更高, 噪声更多, 必须采用去噪电路。该检测器消耗 ALTERA-EP4CE115 中 2139 个逻辑单元, 每秒可处理 30 帧分辨率为 640 * 480 的 RGB 图像。

关键词: FPGA; Roberts 算子; 边沿检测; 图像处理; Matlab

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)06-0258-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.06.066

Anti-noise Roberts Edge Detector

BI Zhuo^{1,2}, HAN Bing¹

(1. Micro-electronic R&D Center, Shanghai Univ., Shanghai 200072, China;

2. Coll. of Mecha. Engin. and Automation, Shanghai Univ., Shanghai 200072, China)

Abstract: Edge detection operation is fundamental in the field of image processing, such as image segmentation, object recognition, area morphology extraction and so on. There are many methods to detect edge, but most of them are implemented by software that do not guarantee real time in the low cost computing platform. So propose a digital circuit based on Roberts operator edge detector and morphological filter to implement low cost and real-time edge detector of image. Compare the practical results between FPGA with Matlab. With the compare results, the hardware implementation has higher accuracy and more noise, so anti-noise of design is necessary. This edge detector consumes only 2139 logic elements of ALTERA-EP4CE115 and the speed of real-time videos processing can reach to 30 frames per second, can process 640×480 RGB images.

Key words: FPGA; Roberts operator; edge detection; image processing; Matlab

0 引言

图像处理主要是模拟人类对图像信息的认知和决策能力。其中边沿提取或边沿检测是经典的图像处理方法。经典的边缘提取方法是考察图像的每一个像素在某个领域内的灰度变化, 利用邻近一阶或二阶方向导数变化规律, 用最简单的方法检测出边缘。这类方法称为边缘检测局部算子法。基于一阶导数的边缘检测算子包括 Roberts 算子^[1]、Sobel 算子^[2]、Prewitt 算子等。拉普拉斯边缘检测算子是基于二阶导数边缘检测算子, 该算子对噪声敏感。一种改进方式是先对图像

进行平滑处理, 然后再应用二阶导数的边缘检测算子, 其代表是 LOG 算子。Canny 算子是另外一类边缘检测算子, 它不是通过微分算子检测边缘, 而是在满足一定约束条件下推导出的边缘检测最优化算子^[3]。Roberts 算子是 2×2 算子, 对具有陡峭的低噪声图像响应最好^[4]。

文中先对图像进行形态学腐蚀滤波, 得到高质量的图像。再通过 Roberts 算子实现图像的边沿检测。这样得到的效果具有边沿平滑、噪声小等特点, 并且和 MATLAB 仿真结果做进一步结果分析。

收稿日期: 2012-09-21

修回日期: 2012-12-25

网络出版时间: 2013-03-05

基金项目: 上海市教委优秀青年学者基金(B.37-0109-10-018)

作者简介: 毕卓(1979-), 男, 吉林敦化人, 博士, 讲师, 研究方向为微处理器设计及高性能数字电路设计; 韩冰(1990-), 男, 黑龙江绥化人, 硕士研究生, 研究方向为机器视觉。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130305.0819.051.html>

1 形态学介绍

数学形态学的数学基础和所用语言是集合论^[2],因此它具有完备的数学基础,这为形态学用于图像分析和处理、形态滤波器的特性分析和系统设计奠定了坚实的基础^[5]。数学形态学的算法具有天然的并行实现的结构,实现了形态学分析和处理算法的并行,大大提高了图像分析和处理的速度^[6]。它的基本运算有4个:膨胀(或扩张)、腐蚀(或侵蚀)、开启和闭合,它们在二值图像和灰度图像中各有特点。

为实现形态学的基本运算,首先要定义:

元素:设有一副图像 X ,若有一像素点 a 在图像 X 区域内,则称 a 属于 X 的元素;像素点 b 不在图像 X 区域内,则称 b 不属于 X 的元素。

设有两幅图像 B, X 。对于 B 中的所有像素 b_i ,都有 $b_i \in X$,则称 X 包含 B 。若两幅图像存在这样的点,它既是 B 的元素,又是 X 的元素,则称 B 击中 X ,记作 $B \mapsto X$;若不存在任何一个点,它既是 X 的元素,又是 B 的元素,即 X 和 B 的交集是空,则称 B 不击中 X 。

结构元素:设有两幅图像 B, X 。若 X 是被处理的图像, B 是用来处理图像 X 的,则称 B 为结构元素。结构元素一般都是比较小的图像,不同的结构元素对同一张图像的处理结果也是不一样的。

1.1 腐蚀

把结构元素 B 平移 i 后得到 B_i ,若 B_i 包含于 X ,则记住这个 i 点,所有满足条件的 i 点集合称为 X 被 B 腐蚀的结果,腐蚀结果是这样的一个集合,以至 B 对这些元素以为操作的结果完全包含于 X ,公式如式(1)所示。

$$E(X) = \{i | B_i \subset X\} = X \ominus B \quad (1)$$

其中, X 是被处理的图像, B 是结构元素。对于任何一个在阴影部分的点 i , B_i 包含于 X ,所以 X 被 B 腐蚀。

腐蚀一般应用于去掉图像中小于结构元素部分和如果两个物体之间有细小的联通,当结构元素足够大时,可以将物体分开,所以腐蚀对图像有很好的滤噪功能^[7]。

1.2 膨胀

膨胀可以看作是腐蚀的对偶运算,就是把结构元素 B 平移 i 后得到集合 B_i ,若 B_i 击中 X ,记住该点 i ,所有满足条件的点 i 集合称为 B 对 X 做膨胀操作。

$$E(X) = \{i | B_i \mapsto X\} = X \oplus B \quad (2)$$

膨胀对图像有强化作用,结构元素足够大可以把图像中两个相邻的物体连接起来。

形态学的开闭操作就是基于两个腐蚀膨胀基本算法演变而来的。开操作就是先腐蚀后膨胀,闭操作就是先膨胀后腐蚀。

2 Roberts 算子

景物的边缘具有十分复杂的形态,因此,最常用的边缘检测方法是所谓的“梯度检测法”。Roberts 边缘检测算子是一种利用局部差分算子^[8]寻找边缘算子的。一般的,设 $f(x, y)$ 是图像灰度分布函数; $s(x, y)$ 是图像边缘的梯度值; $\varphi(x, y)$ 是梯度的方向。则有

$$s(x, y) = \{ [f(x+n, y) - f(x, y)]^2 +$$

$$[f(x, y+n) - f(x, y)]^2 \}^{\frac{1}{2}}, (n=1, 2, \dots) \quad (3)$$

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1} \{ [f(x, y+n) - f(x, y)] /$$

$$[f(x+n, y) - f(x, y)] \} \quad (4)$$

式(3)与式(4)可以得到图像在 (x, y) 点处的梯度大小和梯度方向。将式(3)改写为:

$$g(x, y) = \{ [\sqrt{f(x, y)} - \sqrt{f(x+1, y+1)}]^2 +$$

$$[\sqrt{f(x+1, y)} - \sqrt{f(x, y+1)}]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$g(x, y)$ 称为 Roberts 边缘检测算子,式中对 $f(x, y)$ 等的平方根运算使该处理类似于人类视觉系统的发生过程。Roberts 梯度算子所采用的是对角方向相邻两像素值之差,用差分代替一阶偏导,算子形式可表示如下:

$$\begin{cases} \Delta_x f(x, y) = f(x, y) - f(x-1, y-1) \\ \Delta_y f(x, y) = f(x, y-1) - f(x-1, y) \end{cases} \quad (6)$$

实际应用中,避免出现负值,在边缘检测时常提取其绝对值。公式(5)计算比较复杂,开方和指数运算周期长、资源消耗大,不利于硬件实现,因此根据公式(5)、(6)可将公式(5)改写为公式(7)来近似计算 Roberts 边沿检测算子。

$$g(x, y) = |f(x, y) - f(x-1, y-1)| + |f(x, y-1) - f(x+1, y)| \quad (7)$$

利用公式(7)计算的梯度值,再用阈值的方法实现图像分割,实现图像边沿提取,其实现方法如公式(8)所示:

$$f'(x, y) = \begin{cases} 0 & g(x, y) \geq T; \\ 255 & g(x, y) < T; \end{cases} \quad (8)$$

$f'(x, y)$ 为经过 Roberts 算子和边沿提取后该点的实际像素值。 T 是图像分割域度,这里设定为 $T = 10000$ 。

3 抗噪的 Roberts 边沿检测电路

3.1 电路结构

采用 Roberts 算子的边沿检测实质上是对图像进行一维卷积运算,可以用公式(7)做近似卷积计算,因此很适合采用电路实现。实现 Roberts 算子的关键是实现正方形窗,正方形窗是实现两行像素同时输出,利用公式(7)算出 $g(x, y)$ 值。正方形窗口实现梯度计

算,结果传给图像分割模块,利用公式(8)提取图像边缘并把像素数据输出来,存储在图像缓存(SRAM)中。像素数据通路硬件结构,如图 1 所示。

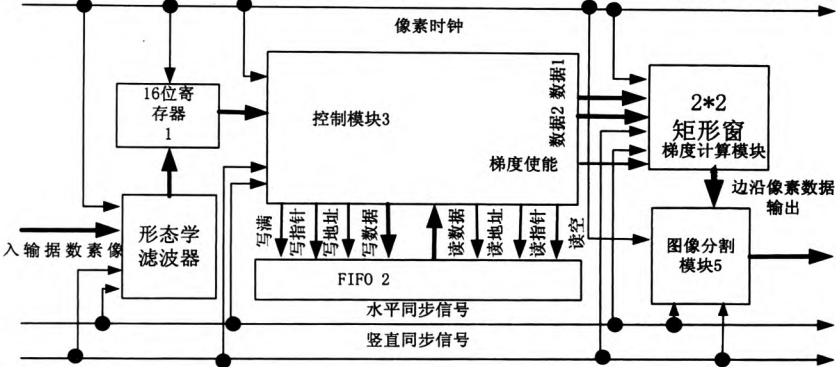


图 1 Roberts 边沿检测结构图

形态学作为一种高效的非线性图像处理方法,它的优势在于潜在的并行性和它的算法精简,因此形态学有利于进行高速的硬件设计。根据第 1 部分的介绍,根据结构元素内的像素值求出最大值和最小值,最大值为该原点膨胀的结果,最小值为该原点腐蚀的结果,其结构原理图如图 2 所示。

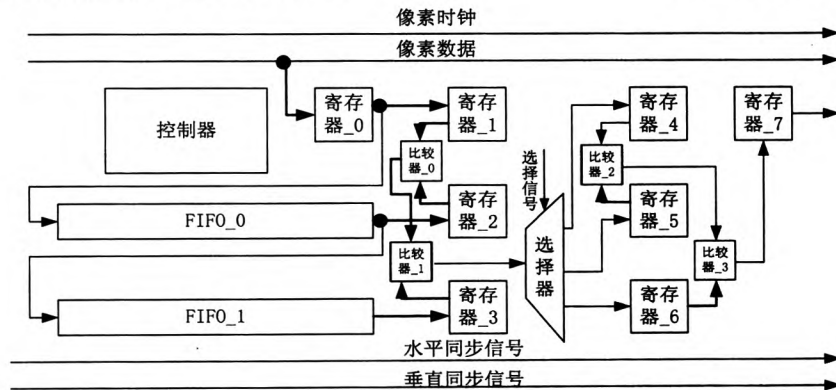


图 2 形态学滤波结构

3.2 功能验证

文中设计的抗噪 Roberts 算子的边沿检测器,用 Verilog 硬件描述语言描述,在 Altera 的 DE2-115 的开

发板上实现。采用 CMOS 彩色图像传感器 OV9650 作为图像采集设备,通过 I²C 控制器配置 OV9650 内部寄存器参数,实现 640 * 480 的 16 位 RGB565 格式真彩色图像输出。边沿检测模块实现图像的实时滤波和边沿检测,经过处理后的图像信息存储在图像缓存中,通过 VGA 控制器将边沿检测效果显示在 LCD 上。

4 实验数据

文中设计的抗噪边沿检测器,为了实现软硬件效果对比,文中分别用硬件和软件做 Roberts 边沿检测,其结果如表 1。

从表 1 可以看出软件实现的边沿检测效果并不是很理想,丢失一些边沿。这也说明软件实现的精度没有硬件实现精度高。正是由于硬件的高精度使图像效果多了很多噪声,因此滤波就显得尤为重要。带有形态学的滤波的 Roberts 边沿检测效果要好很多,图像边

沿光滑效果清晰。抗噪的 Roberts 边沿检测器的相关参数和同类型设计做了比较如表 2^[9-12],实现处理速度可达到 30 帧/秒,像素数据 16 位 RGB565 格式 640 * 480 图像数据输出。这种 640 * 480 的图像边沿检测效果很好,图像视频流畅。从表 2 可以发现,文中设计的边沿检测在面积、速度和帧频上与同类设计有非常大的优势。

5 结束语

硬件成本的逐渐降低,尤其是以 FPGA 为代表的可编程器件的普及,使得“硬”计算逐渐显现出优势。

表 1 实验结果

MATLAB原始图像	MATLAB边沿检测	FPGA原始图像	无去噪边沿检测	抗噪边沿检测

表2 FPGA 硬件资源的利用率

	文中	文献[9]	文献[10]	文献[11]	文献[12]
FPGA 型号	ALTERA -EP4CE115	Xilinx virtex II PRO	Xilinx	-	Xilinx Virtex-4, FX60
逻辑单元	2139	-	3074	2456	75000
寄存器	1654	2100	2213	1408	-
最长路径时间	19.137ns	9.094ns	-	-	9.4ns (106 MHz)
内存	41856	15	-	71887	-
频率	30fps	-	-	-	17fps (0.06s)

文中所提出的抗噪的 Roberts 边沿检测器也是硬计算的一种尝试。下一步的研究方向有二:一是继续引入相关图像预处理模块,增强系统功能;二是与具体应用相结合,如车牌识别,行人识别等领域,获得具有实用化前景的低成本视觉系统。

参考文献:

[1] Sarangi S, Rath N P. Performance Analysis of Fuzzy-based Canny Edge Detector[C]//Proc of Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications. [s. l.]: IEEE,2007:272-276.

[2] 张 波,张焕春,经亚枝. 顺序形态图像处理器的硬件实现[J]. 电子与信息学报,2004,26(12):1856-1865.

[3] 张 伟. 基于 DSP 和 FPGA 的形态学骨架提取硬件实现技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2004.

[4] 冯乃勤,熬连辉,王善侠. 形态学联想记忆的研究综述[J].

计算机应用研究,2010,27(10):3639-3643.

[5] 谷陆生. 基于 SoPC 的实时边缘检测系统研究[J]. 电子技术应用,2009(8):47-49.

[6] 官 鑫,王 黎,高晓蓉,等. 图像边缘检测 Sobel 算法的 FPGA 仿真与实现[J]. 现代电子技术,2009(8):109-111.

[7] 张丽红,凌朝东. 基于 FPGA 的 Sobel 边沿检测应用[J]. 电子技术应用,2011,37(8):109-111.

[8] Pollak M,Tartakovsky A G. Exact Optimality of the Shiryaev-Roberts Procedure for Detecting Changes in Distributions [C]//Proc of International Symposium on Information Theory and Its Applications. Auckland,New Zealand:[s. n.],2008.

[9] Krid M,Damak A,Masmoudi D S. Hardware implementation of a pulse mode neural network-based edge detection system [J]. International Journal of Electronics And Communication, 2009,63(10):810-820.

[10] Wu Jincheng,Sun Jingrui,Liu Wenying. Design and Implementation of Video Image edge Detection System Based on FPGA[C]//Proc of 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing. [s. l.]:IEEE,2010:472-476.

[11] Yasri L,Hamid N H,Yap V V. Performance Analysis of FPGA Based Sobel Edge Detection Operator[C]//Proc of 2008 International Conference on Electronic Design. [s. l.]:IEEE, 2008:1-4.

[12] Nguyen Q H,Lee K Y,Aung M T,et al. Hardware-accelerated edge detection for polarimetric synthetic aperture radar data [C]//Proc of 2009 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing. [s. l.]:[s. n.],2009:204-207.

2013 CCF 中国计算机大会征文通知

第十届 CCF 中国计算机大会(2013 CCF China National Computer Congress, CCF CNCC 2013)将于 2013 年 10 月 24-26 日在长沙圣爵菲斯酒店举行,承办单位为国防科技大学。CCF CNCC 是由中国计算机学会 2003 年创建的系列性学术会议,已在不同的城市成功举办九届,现每年一次。

CCF CNCC 旨在探讨计算机及相关领域最新进展和宏观发展趋势,展示中国学术界、企业界最重要的学术、技术事件和成果,使不同领域的专业人士能够获得探讨的机会并获得所需信息。CCF CNCC2013 将有逾 1500 人到会,有近百项成果进行展示,是中国计算机界的又一次盛会。

CCF CNCC2013 现公开征集会议论文,征文范围涵盖计算机领域各方向,要求是没有公开发表过的原创性论文。本次大会不出版会议论文集,拟挑选不超过 50 篇的优秀论文将刊登在《计算机学报》上,其他所有大会入选论文也将发表在《小型微型计算机系统》、《计算机工程与科学》等其他 CCF 会刊上。

征稿范围(但不限于)

■ 计算机系统结构:□高性能计算 □CPU 设计与多核处理器技术 □计算机网络与新一代互联网 □传感器网络与物联网 □对等计算与网格计算 □云计算与数据中心网络 □网络存储系统 □网络与信息安全。


■ 计算机软件与理论:□计算机科学理论□程序设计语言与编译技术□软件形式化描述与测试□操作系统与系统软件□数据库技术□数据挖掘与内容检索□软件工程与知识工程。

■ 计算机应用技术:□人工智能与模式识别 □智能控制技术 □图形学与人机交互 □虚拟现实与可视化技术 □多媒体技术□中文信息技术□电子政务与电子商务□生物信息学。

投稿方式:请作者在大会网站: <http://cncc.ccf.org.cn> 注册并提交论文。

重要日期: 论文提交截止日期: 2013 年 6 月 20 日

联系方式:戴瑞琳 cncc_pr@ccf.org.cn,010-6260 0336

作者：[毕卓](#)，[韩冰](#)，[BI Zhuo](#)，[HAN Bing](#)
作者单位：[毕卓, BI Zhuo\(上海大学微电子研究与开发中心, 上海200072; 上海大学机电工程与自动化学院, 上海200072\)](#)
[， 韩冰, HAN Bing\(上海大学微电子研究与开发中心, 上海, 200072\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2013, 23(6)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201306066.aspx