

# 灰度梯度自适应阈值二值化算法的 FPGA 实现

祁 蒙<sup>1</sup>, 刘 鑫<sup>1,2</sup>, 姜学东<sup>2</sup>

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 北京交通大学电气工程学院, 北京 100044)

**摘 要:**根据红外图像中目标与背景之间灰度比梯度特性,提出了一种自适应阈值二值化算法,并利用 FPGA 并行流水处理特点,采用模块化设计,完成了该算法的 FPGA 实现。算法实现由灰度比二值化模块和自适应阈值  $T$  模块两部分组成。灰度比二值化模块根据同步信号流水计算模板内灰度比梯度,并根据差值大小进行二值化。自适应阈值  $T$  模块根据背景的变化规律实时调整输出阈值大小,以实现灰度比二值化模块作用范围的控制。实验结果表明,该算法虚警率较低,运算耗时少,满足实时处理的要求。

**关键词:**图像二值化;现场可编程逻辑门阵列;灰度比梯度

**中图分类号:**TP751.1

**文献标识码:**A

## Adaptive Threshold Binarization Based on Grey Grads Using FPGA in IR

QI Meng<sup>1</sup>, LIU Xin<sup>1,2</sup>, JIANG Xue-dong<sup>2</sup>

(1. North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China;

2. Electrical Engineering Institute, Beijing JiaoTong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Adaptive threshold binarization of infrared image based on the characteristic of grey scale grads between target and background is proposed in this paper. This paper also introduced a design to achieve the new method by using modularization method and characteristic of paralleled and pipeline of FPGA. This design contains two modules: grey scale binarization module and adaptive threshold  $T$  module. The former carries out streamline computation of binarization with synchronous signals. The binarization is based on the range of grey scale grads which is also carried out by first module. The adaptive threshold  $T$  module adjusts threshold  $T$  and control the binarization module. Results of experiments show that this design can process image binarization of infrared image with short delay and low fake alerts. It satisfies the real-time processing requirement.

**Key words:** binarization; FPGA; grey scale grads

### 1 引言

红外运动小目标的检测是目标检测的重点和难点。其中,对复杂背景的抑制以及复杂背景下红外图像分割是图像处理与识别的基础。本文采用的算法是利用红外图像中目标与背景灰度值间的差异以及目标边缘灰度值变化梯度很大这些特点来检测目标,并根据图像背景的变化自适应调整图像分割阈值。目前高速图像处理系统的特点是:图像处理速度快(大于 25f/s)、数据处理量大并实现图像实时处理。本文所介绍的算法利用 FPGA 的并行流水特点实现灰度比模块以及自适应局部阈值模块,从而减少了运算耗时,提高了系统实时性。为便于与后续系统进行数据交换,在 FPGA 外围配置了相应的 DRAM(双口 RAM)来存储图像数据。

### 2 算法原理

本文采用的灰度比变化和自适应阈值红外图像二值化算法是根据实际红外图像中目标边缘灰度值梯度很大而背景内部梯度较小这一特点提出的<sup>[1]</sup>。检测出灰度值梯度较大的区域,就可以将目标提取出来。有利于提高目标的检测概率,减小虚警率,同时减小运算量,便于图像实时处理。该算法的计算公式如下:

$$g(x,y) = \begin{cases} 0 & f(x,y) < T \\ 1 & f(x,y) \geq T \text{ \& } h(x,y) \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

作者简介:祁 蒙(1977-),男,光学工程硕士,现从事红外图像处理,红外图像评价研究。E-mail: qimengqimeng@263.net

收稿日期:2008-02-16

边缘梯度检测函数  $h(x,y)$  计算公式如下:

$$h(x,y) = F(x,y) \times A - F(x,y) \times B - T_2 \quad (2)$$

$$F(x,y) \times A =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M f(x+i-\frac{M+1}{2}, y+j-\frac{M+1}{2}) \times a(i,j)}{M \times M} \quad (3)$$

$$F(x,y) \times B =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N f(x+i-\frac{N+1}{2}, y+j-\frac{N+1}{2}) \times b(i,j)}{N \times N} \quad (4)$$

其中,  $F(x,y)$  为图像对应像素灰度值矩阵;  $A, B$  分别为  $M$  乘  $M, N$  乘  $N$  矩阵模板 ( $M < N$ );  $T_2$  为自适应阈值门限。可根据目标的特性选择不同的模版进行有针对性地筛选。本文中选用的是两个边缘提取模板(如式(4)所示)。即以图像中灰度值为  $f(x,y)$  的某一像素点为中心分别开一小( $m \times m$ )一大( $n \times n$ )两个窗口,通过计算比较两个窗口边缘处像素均值的大小来判断窗口中心像素点是否是目标,若两值之差大于阈值门限  $T_2$ ,则将该中心点像素灰度值置1;反之,则为0。

$$a = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & 0 & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{16} \\ \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} & \frac{1}{16} \end{bmatrix} \quad (5)$$

边缘梯度检测函数  $h(x,y)$  中自适应阈值门限  $T_2$  计算公式如下:

$$T_2 = k_1 \frac{\sum_{i=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} f(x+i, y+j)}{N \times N} \quad (6)$$

式中  $f(x+i, y+j)$  表示某像素点的像素值;  $k_1$  为常数,由窗口大小、虚警率以及检测概率来决定。

考虑到一幅图像( $M \times N$ )内会有一些暗点,在这些暗点周围的灰度值梯度会比较大,因此式(1)中需要一个门限阈值  $T$  来限定边缘梯度检测函数  $h(x,y)$  的作用范围,减小虚警率。 $T$  的计算公式如下:

$$T = k_2 \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x,y)}{M \times N} \\ = k' \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(x,y) \quad (7)$$

可以通过调整常数  $k_2$  的值来改变门限阈值  $T$  的大小,从而降低虚警率。

### 3 灰度比二值化算法的FPGA实现

FPGA(现场可编程逻辑门阵列)器件具有功能

现场编程、使用灵活等特点,特别适用于具有并行流水结构的算法<sup>[2-3]</sup>、实时运算要求高的系统。本红外实时图像处理系统采用的是 ALTERA 公司生产的 stratix II 系列的 FPGA 芯片 EPIS25F672C7。其主要资源有:25660 个 Les,1944576bits 片内 RAM,10 个 DSP 模块,能够满足算法实现需要。

图1所示为灰度比二值化算法的FPGA系统框图。FPGA内部通过同步信号控制灰度比二值化算法模块,自适应阈值  $T$  模块,和双口RAM(DRAM)读写控制模块的时序配合。输入的模拟视频信号经过高速ADC转换后,将数据同时输入FPGA灰度比二值化算法模块和自适应阈值  $T$  模块。灰度比二值化模块根据输入同步信号流水计算图像大小开窗均值  $A_M, A_N$  的差和自适应阈值  $T_2$ ,并将两值相比较。同时自适应阈值  $T$  模块通过累加和除法运算计算出阈值门限  $T$ ,并将每一个像素灰度值与  $T$  相比较。随后将两模块运算结果做与运算,运算结果通过DRAM读写控制模块存入双口RAM中。为便于与后续系统进行数据交换,采用乒乓存储方式,避免出现同时对RAM读写的现象。为保证各个模块的时序同步,所有同步控制信号都由行、场同步信号和外部时钟生成。

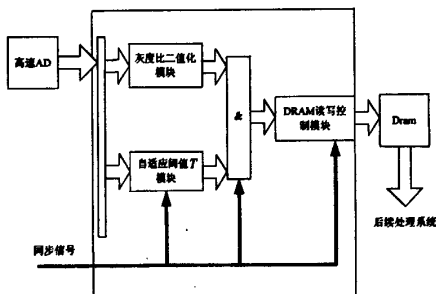


图1 灰度比二值化算法的FPGA系统框图

#### 3.1 灰度比二值化算法模块

图2所示为算法程序流程图,模块内的数据缓存区由4个FIFO和20个锁存器串联组成,其中每一个FIFO和4个锁存器的总存储深度与图像一列像素数相同。A/D转换后的数据进入FPGA后,首先进入数据缓存区,进入缓存区的数据随输入时钟的时钟沿逐个向右移动。经过  $(4N+4)$  个时钟沿后,大小窗口边缘像素值数据就可经锁存器抽出,分别进入下上两组加法器中进行求和,再经除法器得到均值,最后两者比较大小并输出结果。在这里,由于除数均为2的整数次幂倍,因此除法可以通过移位来实现。若  $\text{Div}_1/8 > \text{Div}_1/16 + T_2$ ,则输出1,反之输出0。灰度比自适应阈值  $T_2$  的大小由目标和背景之间灰度差,目标与噪声之间灰度差、虚警率以及检测概率等多方面因素来决定,这里为了实现方便,令  $T_2$  等于小窗灰度值均值  $\text{Div}_1/8$  的  $1/8$ 。

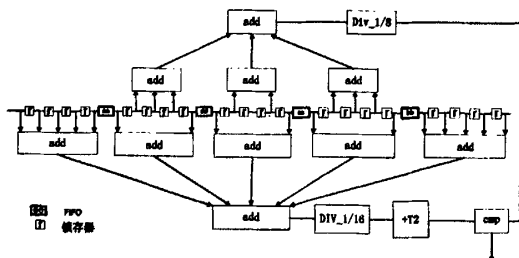


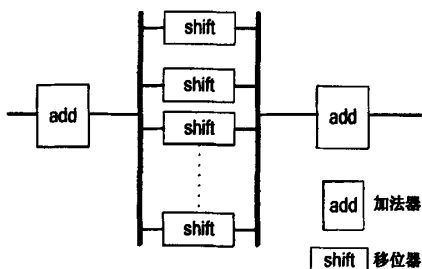
图2 算法程序流程图

### 3.2 自适应阈值 $T$ 模块

自适应阈值  $T$  模块的作用是提供一个阈值门限以限制灰度比二值化算法的作用范围。由于图像相邻帧之间背景变化很小,因为便于流水设计,把上一图像数据帧统计得到的阈值作为当前帧的阈值。考虑到 FPGA 本身实现除法比较复杂,所以采用移位求和的方式实现除法<sup>[1]</sup>,即将  $k'$  在  $1/2$  处按泰勒展开,展开形式如下:

$$k' = \frac{1}{2^{a_1}} + \frac{1}{2^{a_2}} + \frac{1}{2^{a_3}} + \frac{1}{2^{a_4}} + \frac{1}{2^{a_5}} + \frac{1}{2^{a_6}} + \dots \quad (8)$$

其中,  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  为正整数。这样就通过移位求和的方式实现除法,移位的个数由除法的精度决定。图3为自适应阈值  $T$  的 FPGA 实现结构图。

图3 自适应阈值  $T$  的 FPGA 实现结构图

将图像中每一个像素的灰度值与  $T$  相比,若大于  $T$ ,则相应像素灰度值置1;反之,则置0。

### 4 实验结果与结论

本文介绍的算法使用 ALTERA 公司的 Quartus II 5.1 软件对其进行了综合和时序仿真,并在某红外图像实时处理系统的外场实验中得到了验证。整个算法所占用的逻辑资源占 FPGA 总资源量的不足 20%。图4是红外原始图像,图5为灰度阈值二值化后的图像,门限阈值为 1.02 倍全图像素均值,图6为灰度比二值化后的图像。从原图上可以看出,目标灰度级与背景中云层灰度级相当,灰度阈值二值化后,在提取出目标的同时,背景云层也被提取出来,虚警率大幅提高;若提高阈值降低以降低虚警率,则目标就必然会无法提取出来,降低系统的监测概率。而相同阈值门限下采用灰度比二值化法后,将目标提取出的同时,云层也被消去。

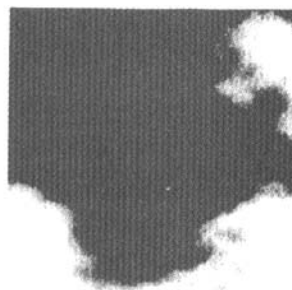


图4 红外原始图像

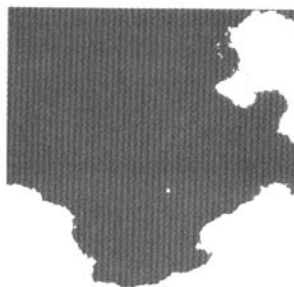


图5 灰度阈值二值化后的图像

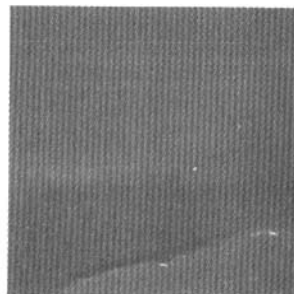


图6 灰度比二值化后的图像

实验结果表明,该算法能够在较低的虚警率下将目标提取出来。若整个算法由 DSP64xx 系列来实现(主频 600M)需要耗时 3 ~ 5ms,而用 FPGA 实现仅仅需要不到 100μs。该算法的 FPGA 实现提高了系统对红外目标的搜索能力的同时,缩短了运算时间,提高了实时相应速度,符合现代红外实时图像处理系统的要求。

### 参考文献:

- [1] 朱军,史形成,何佩现. 隔点差分自适应阈值红外图像分割算法的 FPGA 实现[J]. 激光与红外, 2005, 35(2): 134 - 136.
- [2] 彭鼎祥,汤心溢,王世勇. 复杂背景下红外小目标检测流水线快速预处理算法[J]. 半导体光电, 2006, 27(1): 75 - 78.
- [3] 徐江丰,张涌,汤心溢. 红外目标检测的形态滤波改进算法及其 DSP 实现[J]. 激光与红外, 2006, 36(8): 715 - 717.

# 灰度梯度自适应阈值二值化算法的FPGA实现

作者：[祁蒙](#)，[刘鑫](#)，[姜学东](#)，[QI Meng](#)，[LIU Xin](#)，[JIANG Xue-dong](#)

作者单位：[祁蒙, QI Meng\(华北光电技术研究所, 北京, 100015\)](#)，[刘鑫, LIU Xin\(华北光电技术研究所, 北京, 100015; 北京交通大学电气工程学院, 北京, 100044\)](#)，[姜学东, JIANG Xue-dong\(北京交通大学电气工程学院, 北京, 100044\)](#)

刊名：[激光与红外](#)[ISTIC](#)[PKU](#)

英文刊名：[LASER & INFRARED](#)

年，卷(期)：2008, 38 (9)

被引用次数：2次

## 参考文献(3条)

1. [朱军; 史彩成; 何佩琨](#) [隔点差分自适应阈值红外图像分割算法的FPGA实现](#) [期刊论文]-[激光与红外](#) 2005 (02)
2. [彭鼎祥; 汤心溢; 王世勇](#) [复杂背景下红外小目标检测流水线快速预处理算法](#) [期刊论文]-[半导体光电](#) 2006 (01)
3. [徐江丰; 张涌; 汤心溢](#) [红外目标检测的形态滤波改进算法及其DSP实现](#) [期刊论文]-[激光与红外](#) 2006 (08)

## 本文读者也读过(3条)

1. [王建平. 秦枫](#) [灰度文本图像自适应二值化滤波算法设计及应用](#) [期刊论文]-[合肥工业大学学报\(自然科学版\)](#) 2004, 27 (5)
2. [赖作镁. 王敬儒. 张启衡. LAI Zuo-mei. WANG Jing-ru. ZHANG Qi-heng](#) [一种实时的复杂户外场景下目标检测算法](#) [期刊论文]-[光电工程](#) 2006, 33 (7)
3. [李冠一](#) [灰度文档图像的直接局域二值化方法](#) [学位论文] 2002

## 引证文献(2条)

1. [赵儒. 张华熊](#) [基于图像处理的电子白板定位技术](#) [期刊论文]-[浙江理工大学学报](#) 2009 (5)
2. [黄立娜. 余仲秋](#) [电子白板系统中参数标定方法的研究](#) [期刊论文]-[应用光学](#) 2012 (2)

引用本文格式：[祁蒙. 刘鑫. 姜学东. QI Meng. LIU Xin. JIANG Xue-dong](#) [灰度梯度自适应阈值二值化算法的FPGA实现](#) [期刊论文]-[激光与红外](#) 2008 (9)