

基于 FPGA 的视频图像目标检测系统^①

王莹, 高美凤

(江南大学 物联网工程学院, 无锡 214122)

摘要: 设计了一种基于 FPGA 的运动目标的检测系统, 采用模块化设计和流水线的处理方式, 充分利用了 FPGA 高速并行处理特点以及 DDR2 SDRAM 大容量特性. 系统采用了单高斯背景建模的背景差分法同时结合帧间差分法的方式实现对运动目标的检测. 实践测试结果表明, 该目标检测系统能够有效的实现运动目标的检测, 且检测效果良好, 满足实时性需求.

关键词: 目标检测; 单高斯模型; 帧间差分; DDR2 SDRAM; FPGA

Video Image Target Detection System Based on FPGA

WANG Ying, GAO Mei-Feng

(School of IoT Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, a moving object detection system based on FPGA is designed. It uses the modular design mode and pipeline processing method, and makes full use of the FPGA features of high-speed parallel processing and DDR2 SDRAM large capacity characteristics. The system uses the combined methods of the background difference method with single Gauss background modeling and frame difference algorithm to achieve the detection of moving objects. Practical test results show that the target detection system can effectively achieve the detection of moving objects and meet the needs of real-time, and has good performance.

Key words: object detection; single Gaussian models; frame differencing; DDR2 SDRAM; FPGA

运动目标检测技术作为许多计算机视觉应用中的预处理环节, 广泛应用于智能监控、人机交互等民用和军用领域. 目标检测技术也成为近年来广大学者研究的重要方向. 总体来说, 目标检测技术可以分为三大类, 即帧间差分法、背景差分法与光流法^[1,2]. 光流法是用来对图像运动方式的一种表达, 但是由于其复杂和巨大的计算量, 难以保持目标检测的实时性^[3]. 帧间差分算法对光线变化不敏感, 稳定性较好, 能有效提高目标轮廓的清晰度, 但不能提取出对象的完整区域, 易产生空洞现象^[4]. 背景差分算法通常能得到较为精确的检测信息, 但易受外界环境干扰, 该方法实现效果很大程度上要依赖于背景建模的技术^[5,6]. 而背景建模中效果较好的一种方法是高斯模型, 在背景较为简单的前提下, 单高斯背景模型因建模相对准确且建模速度快, 时效性强而得到广泛应用.

近年来, 绝大多数的检测处理算法的应用集中在 PC 机上, 而算法大量的复杂计算以及处理器速度的限制, 很难满足处理实时性的需求. 随着 FPGA 技术的快速发展, 在机器视觉和图像处理等领域也得到了广泛应用. FPGA 具有可重复编程的特性以及可并行处理的优势, 极大地提高了编程的灵活性和处理速度的高效性^[7-9]. 使用 FPGA 技术实现开发能有效地保证目标检测技术的实时性, 为后续工作的有序展开提供了保障.

针对以上分析, 本文基于 FPGA 对视频图像运动目标的检测进行研究, 采用帧间差分算法融合单高斯背景差分算法进行目标检测.

1 基本原理

1.1 帧间差分算法

帧间差分算法通常是通过对视频序列中相邻两帧

^① 收稿时间:2016-09-20;收到修改稿时间:2016-10-31 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005789]

图像做灰度差分运算,并将差绝对值与阈值 T 进行比较判定,从而检测出移动目标. 设 $f_k(x,y)$ 和 $f_{k-1}(x,y)$ 分别为 k 时刻和 $k-1$ 时刻采集到的两帧图像, T 为阈值,两帧差分运算结果与阈值判定的表达式为:

$$d_c(x,y) = |f_k(x,y) - f_{k-1}(x,y)| \quad (1)$$

$$R_c(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } d_c(x,y) > T \\ 0 & \text{if } d_c(x,y) \leq T \end{cases} \quad (2)$$

1.2 单高斯背景建模检测算法

背景差分法是通过将背景帧与当前帧进行差分运算,从而检测出运动目标的方法. 随着时间和外界环境的改变,背景帧像素点因扰动而产生差异性,因而需要对背景帧图像进行更新,通过选用单高斯背景建模实现对背景帧图像的建模与适时更新. 单高斯背景建模法认为背景帧中图像的像素点灰度值满足正态分布. 单高斯背景模型一般有以下两个步骤构成.

步骤 1. 初始化背景模型

选取视频流中第一帧作为背景帧,对第一帧图像中像素点进行初始化操作. 计算第一帧图像中像素点的初始均值 μ_0 和初始方差值 σ_0^2 , 初始背景图像 B_0 由 μ_0 和 σ_0^2 构成,表达式为:

$$B_0(x,y) = [\mu_0(x,y), \sigma_0^2(x,y)] \quad (3)$$

式中, $\mu_0(x,y)$ 为第一帧中每个像素点的灰度值; $\sigma_0^2(x,y)$ 为每个像素点赋予的方差值,其中初始标准差值 $\sigma_0(x,y)$ 通常设置为 20.

步骤 2. 背景模型更新

当周围场景发生改变时,背景模型做出调整训练,根据实时信息进行背景的更新. 传统背景模型对整帧图像的像素点都进行更新,不考虑运动目标进入区域对背景值的影响,可能造成“脱壳”现象. 所以在对背景模型更新之前,先要对当前帧中像素点归属于运动前景还是背景进行一个预判. 如若像素点为运动前景,高斯模型不进行更新,反之,若为背景,此时进行背景模型的更新^[10]. 该选择性的更新策略为:

$$B_t(x,y) = \begin{cases} B_{t-1}(x,y) & \text{if } |I_t(x,y) - \mu_{t-1}(x,y)| \geq \lambda \sigma_{t-1}(x,y) \\ \alpha I_t(x,y) + (1-\alpha) B_{t-1}(x,y) & \text{if } |I_t(x,y) - \mu_{t-1}(x,y)| < \lambda \sigma_{t-1}(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

式中, $B_t(x,y)$ 为 t 时刻的背景帧图像, $B_{t-1}(x,y)$ 为 $t-1$ 时刻的背景帧图像; $I_t(x,y)$ 为 t 时刻的当前帧图像; α 为背景更新率,用来反映当前图像对背景图像的更

新速度; $\mu_{t-1}(x,y)$ 为更新前的均值; $\sigma_{t-1}(x,y)$ 为更新前标准差参数; λ 为阈值,通常取值为 2.5.

对单高斯背景模型的更新,主要是对像素点的均值和方差这两个参数值加以更新. 针对需要更新的背景像素点,更新策略为:

$$\mu_t(x,y) = (1-\alpha)\mu_{t-1}(x,y) + \alpha I_t(x,y)$$

$$\sigma_t^2(x,y) = (1-\alpha)\sigma_{t-1}^2(x,y) + \alpha(I_t(x,y) - \mu_t(x,y))^2 \quad (5)$$

$$\sigma_t(x,y) = \sqrt{\sigma_t^2(x,y)}$$

式中, $\mu_t(x,y)$ 为更新后的均值; $\sigma_t(x,y)$ 与 $\sigma_t^2(x,y)$ 分别为更新后的标准差与方差值; α 为背景更新率.

最后将使用单高斯背景建模方法更新后得到的背景帧与当前帧进行灰度差分运算处理,并将差绝对值与阈值 T 进行比较判定,从而检测出运动目标. 设 $f_c(x,y)$ 和 $f_{g,b}(x,y)$ 分别为当前帧视频流图像和更新后背景帧图像,则背景差分运算结果与阈值判定的表达式为:

$$d_c(x,y) = |f_c(x,y) - f_{g,b}(x,y)| \quad (6)$$

$$R_c(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } d_c(x,y) > T \\ 0 & \text{if } d_c(x,y) \leq T \end{cases} \quad (7)$$

1.3 二值形态学处理

通过对二值图像进行相关形态变换处理,完成设计需求. 设 A 为图像集合, S 为结果元素,形态学处理即为用 S 对 A 进行操作处理. 其中膨胀、腐蚀是基本的形态运算. 腐蚀能消除噪声和边界点,使边界内缩. 膨胀处理能填补目标空洞,使边界外扩.

图像腐蚀运算用集合的方式定义为:

$$A \oslash S = \{a | S + a \subseteq A\} \quad (8)$$

S 对 A 进行腐蚀的结果是把结构元素 S 平移后 a 后仍然包含于 A 的点 a 的集合.

图像膨胀运算用集合的方式定义为:

$$A \oplus S = \{a | (S + a) \cap A \subseteq A\} \quad (9)$$

用 S 对 A 进行膨胀的结果就是把结构元素 S 平移 a 后使 S 与 A 的交集非空的点构成的集合.

2 算法实现方案

本文针对背景差分与帧间差分这两种方法的优缺点,采用帧间差分算法与单高斯背景差分算法相融合的方式,选择性更新背景. 既能有效的避免帧间差分算法提取运动目标时出现空洞缺损现象,又能在背景改变的情况下较好地检测出运动目标,规避拖尾现象.

同时基于 FPGA 的硬件处理, 更能保证计算速度以及处理的实时性, 从而能有效快速的检测出运动目标. 最后对检测出的运动目标采用开运算处理方法, 即先腐蚀后膨胀处理, 达到实现消除图像中的噪声点和离散点以及平滑边界的目的.

2.1 系统总体结构框图

基于 FPGA 的运动目标检测系统的处理平台主要由视频源、算法实现处理开发板以及显示器三部分构成^[11], 整个系统主要由视频图像采集、帧存控制、算法处理和显示等部分构成, 整体框图如图 1 所示.

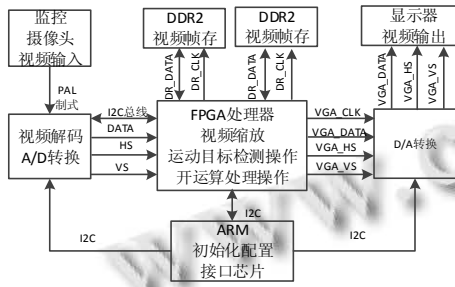


图 1 系统整体结构框图

基于 FPGA 视频图像目标检测系统的工作流程描述如下: 首先, 利用 ARM(STM32F103)芯片通过 I2C 进行初始化和控制配置各接口芯片和 FPGA, 将监控摄像头采集到的视频图像输送到视频解码芯片 TW2867 的第一通道, 在 TW2867 第一通道输出解复用以后进行 BT.656 格式的解析, 将模拟信号 PAL 制式转换为数字信号 YCbCr4:2:2, 同时输出行场同步信号, 然后将该数字视频信号送入 FPGA 中进行视频处理, 并送往片外 DDR2 SDRAM 进行缓存, 且实现视频流的隔行到逐行的转化处理, 然后将 DDR2 中缓存的视频数据再次读入到 FPGA 中进行双线性差值处理和其他相关视频处理操作完成运动目标检测过程, 并将目标检测运算进行开运算处理操作, 最后再经过数模转换芯片 ADV7123 将图像数据转换为模拟信号, 并通过 VGA 显示器实时显示跟踪结果.

2.2 视频帧存控制模块

为了能有效地实现目标检测模块的处理操作, 必须先对视频流数据进行正确的帧存取操作, 因此通过设计 DDR2 SDRAM 控制器实现视频帧存控制. 首先利用 XINLNX 自带的 IP 核完成 DDR2 SDRAM 控制器基本应用方面的设计任务, 再根据用户需求设计用户接口完成数据的交互^[12]. 因为 DDR2 SDRAM 存储器

接口数据宽度为 64bit, 故需要先将解码后的数据流 YCbCr4:2:2 扩展到 64 位数据对齐后再缓存到片外存储器 DDR2 SDRAM 中, 以及因为视频输入以及视频数据的不同读写时钟, 所以在控制器中添加异步读写 FIFO 实现异步时钟控制下数据的交互. 因为实验工程的需求, 通过轮训方式仲裁读写模块, 并结合读写地址控制, 将 DDR2 SDRAM 扩展 5 对读写控制接口. 视频帧存控制器的整体结构框图如图 2 所示.

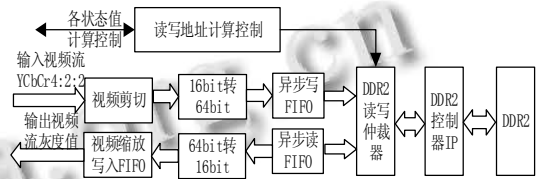


图 2 视频流帧存控制结构图

2.3 移动目标检测算法的 FPGA 实现

采用逻辑或运算将帧间差分运算和单高斯建模背景差分运算相融合的方法将运动目标检测出来. 帧间差分从 DDR2 SDRAM 存储器中取出相邻两帧做差分算法. 而背景差分算法需先从 DDR2 SDRAM 存储器取视频流中的第一帧作为初始背景帧, 然后结合当前帧采用单高斯建模的方法对背景帧进行实时更新重建后再存入 DDR2 SDRAM 存储器备用. 完成目标检测得到运动目标再进行开运算的处理, 消除噪声干扰, 优化检测结果. 为了提高处理速度, 采用深度流水线的处理方式. 另外, 需要注意的是, 在 FPGA 上实现各类参数的存储, 需要将浮点数形式的参数合理定点化处理. 基于 FPGA 实现目标检测算法的具体流程如图 3 所示.

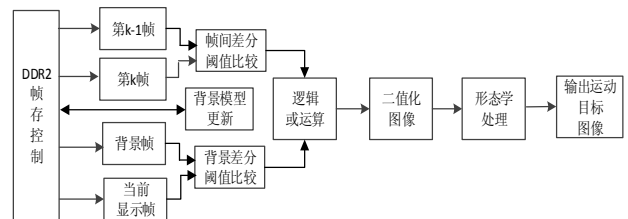


图 3 目标检测算法流程图

2.4 形态学处理算法的 FPGA 实现

通过对差分运算后得到的结果值进行开运算处理, 有效消除各类噪声点, 优化检测结果. 形态学处理在 FPGA 上的实现方式, 将视频图像与结构元素依照膨胀腐蚀的相应原理进行改进, 以适应硬件处理需求.

在硬件实现的过程中,为了将串行图像数据流转化得到 3*3 的像素矩阵,需要使用 IP 核中的 3 行 altshift_taps 移位寄存器来实现.将像素矩阵设为 $P = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 \\ P_4 & P_5 & P_6 \\ P_7 & P_8 & P_9 \end{bmatrix}$,又因为结构元素 $S = \begin{bmatrix} 111 \\ 111 \\ 111 \end{bmatrix}$,故像素矩阵

与结构元素相对应元素乘积仍为本身,先将灰度图进行腐蚀处理,再将腐蚀后的图像膨胀处理操作,整个开运算处理原理结构框图如图 4 所示.

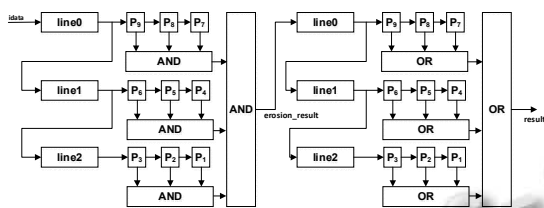


图 4 开运算处理结构框图

3 实验结果与分析

通过使用黑金 ALINX 822 开发平台,配合 AV 接口监控摄像头以及 VGA 显示器等构建的系统来验证基于 FPGA 的运动目标检测系统的实现和性能.FPGA 采用的核心芯片为 ALTERA 公司 CYCLONE IV 系列的 EP4CE30F23C6N.FPGA 的资源消耗利用情况如图 5 所示.

Flow Summary	
Flow Status	Successful - Mon Sep 05 11:04:51 2016
Quartus Prime Version	16.0.0 Build 211 04/27/2016 SJ Lite Edition
Revision Name	top
Top-level Entity Name	top
Family	Cyclone IV E
Device	EP4CE30F23C6
Timing Models	Final
Total logic elements	11,939 / 28,848 (41 %)
Total combinational functions	9,328 / 28,848 (32 %)
Dedicated logic registers	7,791 / 28,848 (27 %)
Total registers	7959
Total pins	146 / 329 (44 %)
Total virtual pins	0
Total memory bits	273,280 / 608,256 (45 %)
Embedded Multiplier 9-bit elements	16 / 132 (12 %)
Total PLLs	2 / 4 (50 %)

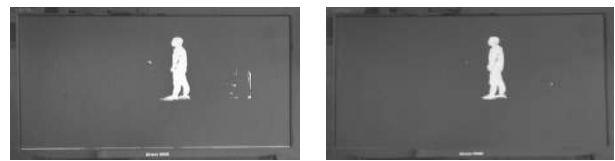
图 5 FPGA 的资源消耗利用率

通过固定监控摄像头,获取的视频流通过整个系统平台,在显示器上得到的实验结果如图 6 所示.其中图(a)、图(b)、图(c)和图(d)分别为背景帧、当前帧、开运算处理前的运动目标和开运算处理后的运动目标截图.



(a)背景帧

(b)当前帧



(c)开运算处理前

(d)开运算处理后

图 6 基于 FPGA 实现的各部分处理结果图

通过实验结果可以看出采用本文的目标检测方法能较好的消除噪声干扰,并有效地检测出运动目标.本实验通过对采集的 PAL 制视频输入信号进行处理,即帧率为 25 帧/s,输入图像的分辨率大小为 720*576,采用双线性差值处理操作使输出视频图像分辨率大小为 800*600.则通过计算求得基于硬件平台的目标检测处理一帧图像时间约为 17.778ms,则处理速度可以达到 56fps,完全可以满足高速实时处理性能的需求.

4 结语

本文主要研究并实现了基于 FPGA 的目标检测系统,充分利用了 FPGA 的并行处理方式以及 DDR2 SDRAM 大容量的储存和传输特性.为后续实现目标识别和跟踪等处理提供了基础.融合帧间差分算法与单高斯背景建模方法并利用 FPGA 处理,实现的目标检测效果显著,且实时性较好.但是本文的研究工作还没有考虑到动态复杂背景的情况,接下来将对该问题进行进一步深入的研究.

参考文献

- 1 屈晶晶,辛云宏.连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法.光子学报,2014,43(7):213-220.
- 2 Difference FI.一种结合光流法与三帧差分法的运动目标检测算法.小型微型计算机系统,2013,34(3):668-671.
- 3 Gultekin GK, Saranlı A. An FPGA based high performance optical flow hardware design for computer vision applications. Microprocessors and Microsystems,2013,37(3):270-286.
- 4 陈志勇,彭力,张纪宽.动态环境下改进五帧差分的运动目标检测新算法.江南大学学报:自然科学版,2015,14(1):34-37.
- 5 黄海涛,蔡坚勇,洪亲,等.快速混合高斯模型的运动目标检测.计算机系统应用,2015,24(6):127-131.
- 6 陈银,任侃,顾国华,等.基于改进的单高斯背景模型运动目标检测算法.中国激光,2014,41(11):239-247.
- 7 Kapela R, Gugala K, Sniatala P, et al. Embedded platform for

- local image descriptor based object detection. Applied Mathematics and Computation, 2015, (267): 419–426.
- 8 林培杰,郑柏春,陈志聪,等.面向多区域视频监控的运动目标检测系统.液晶与显示,2015,30(3):484–491.
- 9 Lopez-Bravo A, Diaz-Carmona J, Ramirez-Agundis A, et al. FPGA-based video system for real time moving object detection. 2013 International Conference on Electronics, Communications and Computing (CONIELECOMP). IEEE. 2013. 92–97.
- 10 喻旭勇,王直杰.一种基于改进单高斯模型的运动目标提取方法.科学技术与工程,2013,13(13):3609–3614.
- 11 Pagire VR, Kulkarni CV. FPGA based moving object detection. 2014 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI). IEEE. 2014. 1–4.
- 12 何小锋,秦赟,杨海英.一种基于大容量 DDR2 存储技术的视频显示分析设计方法.雷达与对抗,2013,33(4):51–55.

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn