

一种多运动目标检测方法在 FPGA 上的实现

马洪连 齐 伟 丁 男 李 栋 (大连理工大学 电子与信息工程学院 辽宁 大连 116024)

摘 要: 运动目标的检测已在众多的领域得到了广泛的应用,但是由于嵌入式处理器自身的速度限制,该应用主要集中在 PC 机上。使用一种改进的基于纹理的算法用于背景提取。采用高速的 FPGA 实现,通过对基于局部二元模式直方图算法的改进,使该算法适合硬件实现,通过一个图像块硬件结构的实现,在 FPGA 上同时实现 12 个图像块并行处理,使系统处理速度有了很大的提高。

关键词: FPGA; 运动目标检测; 并行处理; 局部二元模式

Implementation of Moving Objects Detection Method on FPGA

MA Hong-Lian, QI Wei, DING Nan, LI Dong

(Department of Electronic and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Motion target detection and tracking has been widely applied in many fields. But due to the limitation of the embedded processor's speed, this application mostly concentrates on personal computers. This paper uses an improved texture-based algorithm for the background subtraction. The method is achieved with high-speed FPGA. After improving local binary pattern histogram-based algorithm, the algorithm becomes suitable for hardware implementation. In a hardware structure of the image block, the FPGA can process 12 image blocks simultaneously, which shows that the system's processing speed is greatly improved.

Keywords: FPGA; moving objects detection; parallel processing; local binary pattern

1 引言

大多数实时处理图像的应用中,都要求一个低功耗,高效,低代价,高速的计算平台。对于运动目标检测有三种普遍的方法:帧间差分^[1],光流法^[2],和背景差法^[3]。其中背景差法是目前视频图像中的运动目标检测算法中最常用的一种方法,它是利用当前帧图像与背景图像的差来检测视频中运动目标的一种方法。该方法一般能够检测出较为完整的运动目标,但对于动态场景的变化,如光照和相机抖动等,在这些情况下较难检测出完整的运动目标。背景差法的性能主要取决于对背景图像进行背景建模的技术。

目前,大部分研究人员都致力于开发不同的背景模型,以减少动态场景变化对于运动目标检测的影响。例如 Haritaoglu 等^[3]利用最小、最大强度值和最大时间差值为场景中的每个像素进行统计建模,并且进行周期性的背景更新;Karmann 与 Brandt^[4]、Kilger^[5]

采用基于卡尔曼滤波(Kalman Filtering)的方法建立自适应背景模型,以此适应场景中天气和光照的时间变化;Stauffer 与 Grimson^[6]采取对视频图像中的每个像素进行混合高斯分类建模,来构建自适应的混合高斯背景模型,并且利用在线估计来更新模型。Heikkila^[7]等人提出了一种基于纹理的背景建模方法,对每一个图像块建立基于局部二元模式的直方图的背景模型。在本论文中,我们采用基于局部二元模式的纹理表示方法来进行背景建模,并提出了在 FPGA 平台上,利用并行技术,和算法硬化技术,更快更准确对运动目标进行检测,用很小的计算量来达到一个很高的实时性需求。

2 算法研究

2.1 局部二元模式

局部二元模式是近年来提出的一种有效的纹理描

述方法，它是通过比较图像中每个像素与其周围的像素灰度值的大小，并利用二进制模式表示的比较结果来描述图像的纹理。

$$LBP(x_c, y_c) = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c)2^p, s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中 g_c 是像素中心点 (x_c, y_c) 的灰度值， g_p 表示中心点周围上的 P 个点的灰度值。局部二元模式通常用于灰度图像，最简单的局部二元模式采用 3×3 的模板。图 1 是该模式的计算举例。本系统采用环形对称区域的局部二元模式。R 为中心像素点与其相邻像素点的距离，P 为相邻像素的数目。基于局部二元模式的直方图通过计算一个图像块得到，并且该直方图作为该块的纹理描述。局部二元模式直方图是一种没有参数的方法，所以不用对目标纹理的分布做任何假设，而且其具有很好的分辨能力。基本局部二元模式方法计算简单，而且从公式(1)可以看出，局部二元模式对整个图像灰度值的单调变化影响很小。

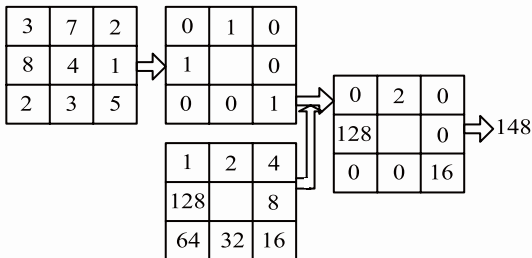


图 1 基本 LBP 的计算

2.2 运动目标检测

背景建模是背景差分中最重要的部分。检测的效果取决于背景建模的好坏。该方法把图像分成若干块，每一块的大小相同，并且这些块之间有部分覆盖，能更好的检测出目标区域。本系统把图像分为 12×12 块，采用 320×240 像素的图像，每一块取 40×30 个像素，图像块之间有部分覆盖像素。该算法使用局部二元模式直方图作为特征向量，则每一块图像的特征向量用一组局部二元模式直方图来表示，在时间 t ，该块的直方图表示为 X_t 。每一块的过程用 K 个带有权值的局部二元模式直方图来表示，即 $\{X_1, X_2, \dots, X_K\}$ 。K 是一个常量(通常取 3~5)。在本文中取 K 为 3。这 K 个直方图是通过系统启动时一组训练图像得到的。第 K 个直方图在时间 t 的权值为 $W_{k,t}$ ，且 K 个权值相加

为 1。本文初始化 $W_k = \{0.2, 0.2, 0.6\}$ 。对于每一个图像块，背景建模更新程序都是相同的，下面介绍每一块的更新过程。

把新读入的图像块的直方图与已经存在的 K 个模型直方图进行比较。采用如下的方法衡量它们的相似度。该方法更加稳定，比直方图交集的结果要好。用阈值 TC 作为该测量方法的参数。

$$\chi^2(S, M) = \sum_{b=1}^B \frac{(S_b - M_b)^2}{(S_b + M_b)^2} \quad (2)$$

如果这个新图像块的直方图和任何一个模型直方图都不匹配，那么在模型直方图中权值最小的那个被替换掉，并给新图像块的直方图赋予一个小的权值。如果有匹配的直方图，则对该直方图的值进行更新。如下所示。

$$X_{K,t}[i] = a_b X_t[i] + (1 - a_b) X_{K,t-1}[i], a_b \in [0, 1] \quad (3)$$

$$W_{K,t} = (1 - a_w) W_{K,t-1} + a_w M_{K,t}, a_w \in [0, 1] \quad (4)$$

其中 a_b 表示学习率，在本系统中取 0.01 能得到很好的效果。 a_w 表示权值的学习率， $M_{K,t}$ 对于匹配的直方图为 1，对于其他直方图为 0。

这 K 个模型直方图中需要决定哪几个最可能由背景处理程序产生。因为每个直方图的权值能代表这个直方图的重要性，所以把它们按照权值大小进行排序，则最可能是背景的直方图在列表的最上端。前 B 个直方图作为背景模型，如下。

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{k=1}^b w_k > T_B \right) \quad (5)$$

其中 T_B 是进行选择的阈值。其值与 K 密切相关。在本系统中取 T_B 为 0.5 到 0.9 的值能取得很好的效果。

前景检测通过把新读入的图像块的直方图与前一时刻选择的 B 个模型直方图进行比较得出的。如果没有找到匹配的直方图，则该图像块为前景，否则，则为背景。

2.3 改进的运动检测算法

基于局部二元模式直方图的运动检测算法很适合用硬件实现，首先它的主要操作都是由线性计算完成的，很容易用硬件实现，加法和乘法操作作用一组逻辑

组合就可以完成,使用很少甚至一个时钟周期就可以完成。其次,没有反复或者复杂的控制策略。这些特点都有利于数据流的实时。但是为了更适合硬件实现和并行性,提出一种更快速,更有效的对视频进行运动目标检测算法的软硬件实现。在本文,每个图像块用 3 个局部二元模式直方图来描述,每个图像块的特征值用权值和直方图来表示。在这里,把每个图像块的一组直方图按权值大小进行排序。新读入的图像块和已经存在的直方图进行匹配。便于硬件实现,匹配的条件采用直方图的交集作为标准。

$$H(x_1, x_2) = \sum_i \min(x_{1,i}, x_{2,i}) \quad (6)$$

满足下面条件则,匹配成功。

$$H(x_i, x_k) > T_c \quad (7)$$

如果有与之匹配的直方图,则进行更新,和其相匹配的直方图更新如下。

$$W_{k,t} = (1 - \alpha_w)W_{k,t-1} + \alpha_w X_{k,t} = a_b X_t + (1 - a_b)X_{k,t-1} \quad (8)$$

其中参数取值与前面算法相同。对于其他直方图权值更新如下。

$$W_{k,t} = (1 - \alpha_w)W_{k,t-1} \quad (9)$$

如果没有相匹配的直方图,则该图像块为前景。同时把背景模型中权值最小的直方图替换掉,并给新的图像块赋予一个很小的初值。

$$W_3 = Low, X_{3,t} = X_t \quad (10)$$

3 系统软硬件实现

本系统采用高速摄像头(CCD)采集实时图像,通过基于局部二元模式直方图的背景差分算法对图像进行处理,检测出多个运动目标。以 Xilinx 提供的 FPGA Virtex-II Pro 为开发平台,设计了视频运动目标的实时检测系统。其主要包括以下功能,对视频图像序列实时高速采集,实时显示采集到的图像序列,实时检测运动目标并输出检测结果。应用 FPGA 的数据和逻辑并行的特点,能达到检测的实时性。下面介绍具体实现。

3.1 视频采集和显示模块

对视频图像进行实时高速采集首先把摄像头采集的模拟视频流转换成数字视频流,系统采用了 VDEC1 板的 ADV7183B 视频解码器芯片完成。由于 VDEC1 输出的信号是 YUV 格式,视频解码模块将视频信号由

YUV 格式转换为 RGB 彩色空间格式,并将它显示在标准的 VGA 显示器上。同时采集 RGB 视频数据并通过 IPIF 将数据存储于 DDR RAM 中。系统采用了无中断信号的 DMA 方式进行实时数据传输。采集进来的数据存储在视频帧存中,处理后的数据存储在前景帧存中。系统框图如图 2 所示。

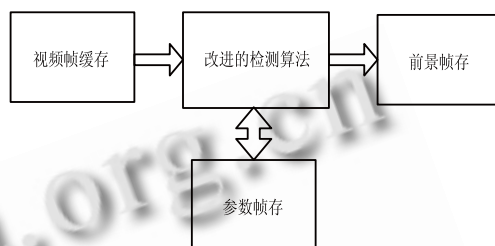


图 2 系统框图

3.2 检测算法的软硬件实现

前面提到的改进算法是以图像块为基本处理单元,通过判断直方图的交集来确定该图像块是否为前景。采用 320 X 240 的图像,分成 12 X 12 个图像块,即 144 块,一般系统要求的速度为每秒 15 帧以上,即每秒要处理 144 X 15 块图像,所以对每一个图像块的硬件加速结构都以 144 X 20 倍增长。对于每一个图像块首先提取其特征值,即局部二元模式直方图。系统采用软件的方式对每块图像进行特征提取,即计算图像块的每个像素的 LBP 值,并统计成直方图。由于提取特征值只用到图像的灰度值即可,所以首先把彩色图像转换成灰度图像。然后把提取出的特征值放入一块 RAM 中。每个图像块建立了 3 个背景模型直方图,放入一块 RAM 中。这样方便系统硬件对其进行读取和写入。系统对每一块图像的处理都是相同的,这里介绍一个对图像块进行处理的硬件结构。如图 3 所示。信号 rst 初始化算法所需的背景直方图和参数。Ready_in 是输入数据已经准备好了。Histogram_in(范围从 0 到 400)代表新读入的图像块直方图中每个角的值。Foreground 代表该图像块是否为前景,0 代表前景,1 代表背景。Model_in1,2,3, Weight_in1,2,3, Previous_in, Model_out1,2,3, Weight_out1,2,3 和 Previous_out 信号是处理前后的参数值和处理的数据。主模块在第一个时钟信号到来时开始工作。算法的硬件实现主要有以下模块。

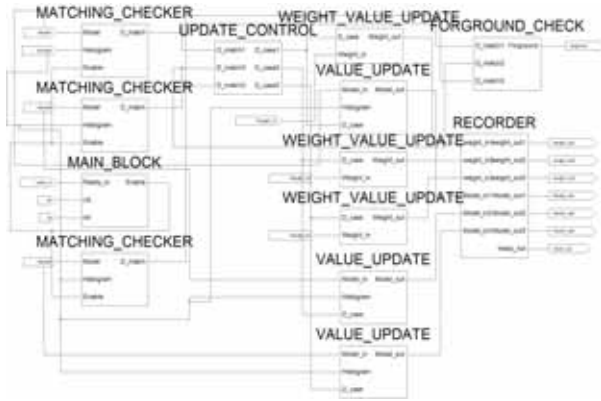


图 3 基于图像块的实现结构

直方图匹配判断模块 MATCHING_CHECKER, 该模块实现两直方图交集的计算, 直方图的值放在 RAM 中, 每次比较直方图的一个值, 并把最小的值放入累加器中, 再读入下一个值, 直到 256 个值都比较完, 输出 D_match 信号。当有匹配的直方图时, 则进行更新, 权值和直方图的更新, 即 WEIGHT_VALUE_UPDATE, 和 VALUE_UPDATE 模块。当更新模块执行完毕, 需要对下一次的输入进行排序。即 RECORDER 模块。

4 实验结果



图 4 检测结果

该系统用 Xilinx 提供的 FPGA Virtex-II Pro 作为开发平台, 使用 PowerPC405 硬核处理器为控制核心, 辅以其他控制模块(Ram 控制, VGA 控制)完成系统的检测任务。512MB 的 DDR2 内存完成整个系统

的数据中转, 通过 Ram 控制模块挂载到 OPB 总线上。图像采用 320 X 240 个像素。图像分成 12 X 12 块, 每一个图像块处理结构占用 FPGA 很小的资源, 所以采用 12 个并行的图像块处理结构, 这样处理的速度有很大的提高。由于需要访问外部数据和一些前期的处理, 速度不会以 12 倍的速度增长, 但是速度还是会有很大的提高。使用文中提到的参数设置, 系统能达到每秒 18 帧的速度, 具有很好的实时性, 而且具有很好较好的检测结果。如图 4 所示。

系统采用硬件方法实现图像数据的采集、显示、检测算法中的改进的步骤, 采用软件方法实现检测算法中不易于硬件实现的特征提取计算。将检测过程中的易于硬件处理的部分交给硬件逻辑实现, 通过表 1 看出, 将算法部分硬化, 并行处理可以有效提高系统检测速度。

表 1 改进结果

实现方式	硬件: 图像采集显示	硬件: 图像采集显示, 检测算法
	软件: 图像特征提取, 检测算法	软件: 图像特征提取
检测速度	8fps	18fps
检测率	85%	82%

5 总结

运动目标的检测已在众多的领域得到了广泛的应用, 但是由于嵌入式处理器自身的速度限制, 该应用主要集中在 PC 机上。本方法采用高速的 FPGA 实现, 通过对基于局部二元模式直方图算法的改进, 使该算法适合硬件实现, 通过一个图像块硬件结构的介绍, 在 FPGA 上同时实现 12 个图像块并行处理, 使系统处理速度有了很大的提高。同时本算法具有很高的检测效果, 尤其当光线的单调变化时对检测效果影响较小。目前检测算法只能达到部分硬化, 今后争取将算法全部用硬件实现, 这样系统的速度会有更大的提高。

参考文献

- 1 Lipton A, Fujiyoshi H, Patil R. Moving target classification and tracking from real-time video. Proc IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Princeton, NJ, 1998. 8 - 14.
- 2 Meyer D, Denzler J, Niemann H. Model based extra-

(下转第 144 页)

- ction of articulated objects in image sequences for gait analysis. Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Santa Barbara, California, 1997. 78 - 81.
- 3 Haritaoglu I, Harwood D, Davis L. W4. Real-time surveillance of people and their activities. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000,22(8):809 - 830.
 - 4 Karmann K, Brandt A. Moving Object Recognition Using An Adaptive Background Memory. Cappellini V, ed. Time-Varying Image Processing and Moving Object Recognition. Amsterdam: Elsevier Science, 1990. 289 - 296.
 - 5 Kilger M. A shadow handler in a video-based real-time traffic monitoring system. Proc IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Palm Springs, CA, 1992. 1060 - 1066.
 - 6 Stauffer C, Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking. Proc. of International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999,2:246 - 252.
 - 7 Heikkila M. Pietikainen M, Heikkila J. A texture-based method for modeling thebackground detecting moving objects. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006. 657 - 662.