

# 基于 GPU 的视频序列中运动目标轮廓提取<sup>\*</sup>

金汉均 曾婷

(华中师范大学计算机学院 武汉 430079)

**摘要:** 传统的高斯混合建模算法对阴影的抑制效果差,且存在噪声干扰和对光照突变比较敏感的问题。采用了一种改进的高斯混合建模方法进行运动目标轮廓提取。该方法利用 Canny 边缘图像对噪声和光照适应性强的特点,将传统高斯混合模型与 Canny 边缘检测相结合来提取目标轮廓。但是,该方法复杂度高且计算量大,不满足视频分析实时性的需求,因此,运用 GPU 强大计算能力和并行处理的优势,基于 CUDA 平台设计并实现了该运动目标轮廓提取算法。实验结果表明,该算法增强了对噪声和光照的适应性,且有效抑制了图像中的阴影,在保证效果的前提下能够更快速地提取视频序列中的运动目标轮廓。

**关键词:** 高斯混合模型;Canny 算子;轮廓提取;GPU

**中图分类号:** TP391.41    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 520.6040

## Contour extraction of moving objects in video sequences based on GPU

Jin Hanjun Zeng Ting

(Computer Department of Huazhong Normal University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** Traditional Gaussian mixture modeling algorithm has the poor shadow suppression, and the problem of noise and being sensitive to illumination change also exist. In this paper, an improved Gaussian mixture modeling algorithm is used to extract the contour of moving objects. Gaussian mixture model is combined with Canny edge detection to extract the contour of objects with the help of the strong adaptability of Canny edge image to noise and illumination. However, this method is of high complexity and large amount of calculation, which can not meet the requirements of real-time video analysis. So this paper designs and implements the algorithm of contour extraction of moving objects based on CUDA platform by using GPU's advantages of powerful computing power and parallel processing. Experimental results indicate that the algorithm improved the adaptability of noise and illumination, and effectively suppress the shadow in images. It can extract the contour of the moving objects in video sequences faster than in general environment under the precondition of the effect.

**Keywords:** Gaussian mixture model; Canny operator; contour extraction; GPU

## 1 引言

视频序列的分析和理解一直是计算机视觉的重要研究领域之一,运动目标轮廓提取是其中的一项重要应用。目标轮廓包含了大量重要信息,提取运动目标轮廓有助于我们进行目标识别、跟踪及分析目标的行为等后续操作<sup>[1-2]</sup>。目标检测是轮廓提取的基础,常见的运动目标检测方法有背景减除法、帧差法、光流法等<sup>[3-4]</sup>。背景减除法比帧差法能得到更完整的目标,同时复杂度比光流法低很多,所以背景减除法是运动目标检测中应用最多的一种方法。

背景减除法的关键是背景建模<sup>[5-6]</sup>,高斯混合模型是在

视频序列中有效进行背景建模的一种方法。许多文献都对高斯混合模型进行了研究,如马德智等人<sup>[7]</sup>提出了一种基于背景减除法的高斯混合模型方法,该方法能够检测出简单背景中较为清晰完整的运动目标。徐蔚鸿等人<sup>[8]</sup>采用高斯混合模型方法,并融合了三帧差分法,能准确地提取前景目标。这些方法虽然能够很好地检测到运动目标,获得较为清晰的轮廓,但容易受噪声干扰,且对光照的适应性差。考虑到边缘图像受噪声和光照的影响比普通图像小,且 Canny 边缘检测算子在处理高斯白噪声污染方面优于其他算子<sup>[9]</sup>,本文在高斯混合模型的基础上融合 Canny 边缘检测技术,对运动目标轮廓提取进行研究。

收稿日期:2016-03

<sup>\*</sup> 基金项目:湖北省科技攻关(011EJB010)、湖北省科技支撑计划(2013BAA104)资助项目

在视频处理中,实时性的问题也是研究的重点,而本文提出的运动目标轮廓提取方法具有很大的计算量无法满足实时的要求。由于 GPU 具有强大的浮点计算及并行处理的能力<sup>[10-11]</sup>,在图像处理及视觉分析领域得到越来越广泛的应用。如 Park 等人<sup>[12]</sup>在 GPU 上实现了经典的图像压缩和特征提取等算法,与在 CPU 上实现算法相比有着明显的优势。Bernabe 等人<sup>[13]</sup>提出了一种基于 GPU 的自动目标检测和分类的算法用于高光谱图像分析,达到了实时处理的目的。Pham 等人<sup>[14]</sup>在 GPU 上实现了基于高斯混合模型背景减除法,效率获得了很大的提升。因此本文结合 GPU 并行计算的优点,提出一种基于 CUDA 平台的运动目标轮廓提取方法,在保证轮廓清晰的同时减少响应时间。

## 2 基于 GPU 的运动目标轮廓提取算法

### 2.1 算法思想

本文首先采用高斯混合模型进行背景建模,获得较为准确的背景模型,然后每获取的新的一帧图像均与背景模型进行匹配,更新背景模型并得到前景目标图像。然后,本文引入 Canny 边缘算子,利用 Canny 算子对虚假边缘响应的强大抑制和对不同类型边缘准确定位的优点,获得视频帧图像的边缘图像。最后,将前景目标图像和 Canny 边缘图像做“与”运算并二值化结果图像,得到精确的运动目标轮廓。考虑到本文算法计算量大,且高斯混合建模算法在 GPU 能够得到有效应用,故本文在 CUDA 平台实现该轮廓提取算法,加速运动目标轮廓提取的过程。

### 2.2 高斯混合模型和 Canny 算子

在高斯混合模型(GMM)中,对图像的每一个像素点建立  $K(3 \leq K \leq 5)$  个高斯分布。假定每一像素点的颜色值序列为  $\{x_1, x_2, \dots, x_t\}$ ,则当前像素值  $x_t$  的概率为:

$$p(x_t) = \sum_{i=1}^K w_{i,t} \eta(x_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t}) \quad (1)$$

$$\eta(x_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} |\tau_{i,t}|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_{i,t})^T \tau_{i,t}^{-1} (x_t - \mu_{i,t})} \quad (2)$$

$$\tau_{i,t} = \sigma_{i,t}^2 I \quad (3)$$

式中:  $w_{i,t}$  为  $t$  时刻第  $i$  个高斯分布的权重,  $\mu_{i,t}$  和  $\sigma_{i,t}$  表示  $t$  时刻的第  $i$  个高斯分布的均值与方差,  $\eta(x_t, \mu_{i,t}, \tau_{i,t})$  为  $t$  时刻第  $i$  个高斯分布的概率密度函数,  $\tau_{i,t}$  为协方差矩阵。对高斯分布队列按  $w/\sigma$  值的大小降序排列,排序后的前  $B$  个分布若满足下式则被选为背景模型:

$$B = \operatorname{argmin} \left( \sum_{i=1}^b w_{i,t} > T \right) \quad (4)$$

若新像素值满足  $|x_t - \mu_{i,t-1}| < 2.5\sigma_{i,t-1}$ ,则认为该像素点与该高斯模型匹配,按照式(5)~(7)进行参数更新。

$$w_{i,t} = (1 - \alpha)w_{i,t-1} + \alpha \quad (5)$$

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho)\mu_{i,t-1} + \rho x_t \quad (6)$$

$$\sigma_{i,t} = (1 - \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \rho(x_t - \mu_{i,t})^2 \quad (7)$$

式中:  $\alpha$  为自定义学习率(本文  $\alpha = 0.01$ ),  $\rho$  为参数更新率且  $\rho \approx \alpha/w_{i,t}$ 。不匹配的分布则按下式改变权重:

$$w_{i,t} = (1 - \alpha)w_{i,t-1} \quad (8)$$

若没有任何分布匹配,则用一个新的高斯分布替换最后一个高斯分布。这个新的高斯分布期望为当前像素值,并初始化一个较大的方差和较小的权重。

Canny 算子基于最优化思想,在处理高斯白噪声污染方面明显优于其他算子,因而在图像处理中得到广泛应用。本文采用 Canny 算子来获得视频帧的边缘图像,由于边缘图像信息稳定,所以混合高斯模型提取前景图像后结合边缘图像能够有效减小噪声和光照对前景目标的影响,达到提高运动目标轮廓清晰度的目的。

图 1(a)、(b)分别给出了原图像和经过 Canny 边缘检测后的图像。

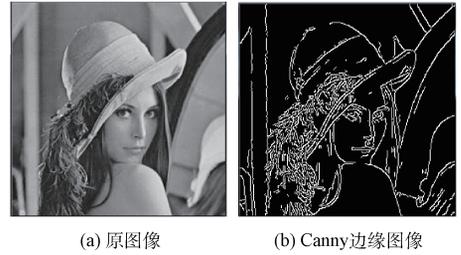


图 1 Canny 边缘检测

### 2.3 统一计算设备架构平台目标轮廓提取算法的实现

统一计算设备架构(CUDA)是一种将 GPU 作为数据并行计算设备的软硬件体系,为有效利用 GPU 进行程序开发提供了很大的便利。一个完整的 CUDA 程序由 CPU 端的串行处理步骤和 GPU 端的一系列并行操作步骤组成。CPU 端的串行处理主要包括 GPU 初始化工作以及数据传输等任务,GPU 端的并行操作部分存在 kernel 内核函数中,主要负责算法中可并行计算的部分。

内核函数在处理 1 帧视频图像时,可以为图像的每个像素点分配一个线程与之对应,每个线程可以独立执行内核函数,达到并行处理视频帧的目的。本文利用 GPU 实现高斯混合建模的处理过程,同时在 CPU 端实现初始化、数据传输和 Canny 边缘检测等串行操作。

CPU 主机端操作步骤如下:

- 1) 初始化 CUDA 设备,分配 CPU 内存和 GPU 显存;
- 2) 读取 1 帧分辨率为  $W \times H$  视频图像,若该图像为第一帧,则初始化高斯混合模型的均值、方差、权重等相关参数,否则调用 cudaMemcpy 函数将图像数据和参数拷贝到 GPU 显存中;
- 3) 调用设备端的核函数,执行运动目标的高斯混合背景建模算法;
- 4) 调用 cudaMemcpy 函数将 GPU 运算结果拷贝回内存,得到前景目标图像;

5)采用 Canny 算子获得视频帧的边缘图像;

6)将步骤4)的前景图像和步骤5)的边缘图像做“与”操作,二值化结果图像得到运动目标轮廓;

7)若视频帧还未读取完毕,则返回步骤2)继续执行,否则调用 cudaFree 函数释放资源;

GPU 客户端操作步骤如下:

1)初始化高斯混合模型匹配状态  $match=0$ ;

2)每个像素点对应的线程首先将当前像素值与第  $i$  个高斯模型进行匹配;

3)若符合背景要求,则按照式(5)~(7)更新该高斯分量的权重、均值和方差,且将  $match$  置为 1,否则按式(8)仅更新该高斯分量的权重;

4)若  $i \leq K$ ,则返回步骤2)继续执行;否则判断  $match$  是否为 0,若是则建立新高斯替换最后一个高斯分布;

5)各高斯分布根据  $w/\sigma$  降序排列,选择满足式(4)的前  $B$  个高斯作为背景;

6)计算前景目标图像,调用 cudaMemcpy 函数将结果返回主机端。

### 3 实验结果及分析

本文实验在 PC 上实现,软件环境为配有 OpenCV 2.4.9 的 Microsoft Visual Studio 2010, Windows 7, 4G 内存, CUDA 版本为 5.5;硬件配置为 Intel Core2 Duo E7500 处理器, Nvidia Geforce GT220 显卡。本文选用 change detection 检测视频集<sup>[15]</sup>中的 highway、pedestrians 和 PETS2006 测试视频集进行实验。

1)不同视频序列中运动目标轮廓提取结果

图 2~4 分别给出了 highway 视频序列第 270 帧、pedestrians 视频序列第 342 帧和 PETS2006 视频序列第 42 帧的原图像、背景、高斯混合建模算法提取的前景图像和本文算法提取的目标轮廓。

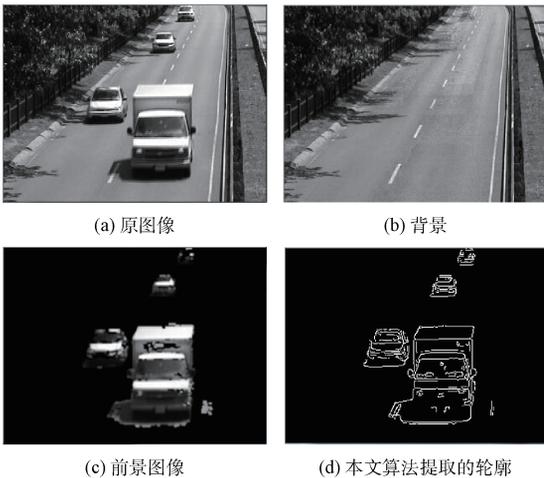


图 2 highway 视频序列第 270 帧运动目标轮廓提取

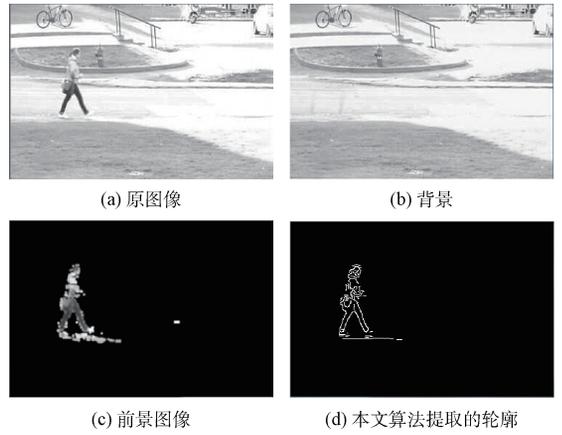


图 3 pedestrians 视频序列第 342 帧运动目标轮廓提取

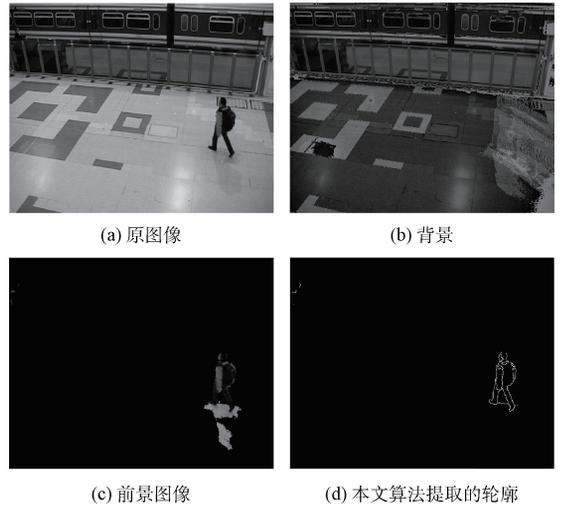


图 4 PETS2006 视频序列第 42 帧运动目标轮廓提取

从图 2~4 的(c)、(d)图像可知,本文算法能够有效去除高斯混合建模算法获得的运动前景中包含的阴影,并且对室内室外均有效。同时,本文算法能够有效减少噪声、光照等因素对实验结果的影响。

2)比较算法在 CUDA 平台和普通环境上的运行时间

实验中测试了 highway 视频序列共 618 帧图像所花时间,求得算法处理一帧图像的平均运行时间(单位:ms),并比较了分辨率分别为  $160 \times 120$ 、 $320 \times 240$  和  $384 \times 288$  的 3 种视频帧图像的运行时间,实验结果如表 1 所示。

由表 1 可知,在 CUDA 平台实现本文算法与在普通环境即 CPU 上实现该算法相比,处理速度得到了提高,说明在 GPU 上实现视频序列中运动目标轮廓提取更能满足实时性的需求。另外,比较 3 种分辨率图像发现, CUDA 在处理高分辨率图像即数据量大的时候加速优势更加明显,

表 1 算法在 CUDA 平台和普通环境上的运行时间

视频图像	类别	CUDA	普通环境	加速比
160×120	GMM	0.1590	7.41	46.60
	总时间	15.23	15.71	1.03
320×240	GMM	0.3622	24.60	67.92
	总时间	19.19	35.12	1.83
384×288	GMM	0.3982	32.19	80.84
	总时间	19.44	47.84	2.46

这是因为在数据量大的时候, GPU 的并行操作掩盖了 CPU 的串行操作消耗时间, 更能体现其的加速优势。

## 4 结 论

本文提出了一种基于 GPU 的融合了高斯混合建模和 Canny 边缘检测技术的运动目标轮廓提取方法, 实验结果表明, 本文算法在保证运动目标轮廓清晰的同时, 缩短了计算时间, 满足视频分析的实时性需求。但是本文算法在 CUDA 平台的串行操作占据了大量的时间, 因此还可以进一步研究 GPU 的并行计算, 从而进一步提高处理效率。

## 参 考 文 献

- [1] 金汉均, 梅洪洋. Sobel 算子在提取视频运动目标轮廓中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11): 29-32.
- [2] MITRA A, ROY S, SETUA S K. Morphologically contour extraction of decisive objects from image[C]. 2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES), IEEE, 2014: 1-5.
- [3] 任克强, 高晓林. 基于五帧差和二维 Renyi 熵的运动目标检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(8): 1179-1186.
- [4] MUKHERJEE D, WU Q M, NGUYEN T M. Gaussian mixture model with advanced distance measure based on support weights and histogram of gradients for background suppression [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014, 10(2): 1086-1096.
- [5] 彭爽, 蒋荣欣. 面向高清视频监控系统的实时运动检测算法[J]. 计算机工程, 2014, 40(11): 288-291, 296.
- [6] 夏海英, 何利平, 黄思奇. 基于时空分布的混合高斯背景建模改进方法[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(5): 1546-1548.
- [7] 马德智, 李巴津, 董志学. 基于高斯混合模型的运动目标检测方法研究[J]. 电子测量技术, 2013, 36(10): 47-50.
- [8] 徐蔚鸿, 严金果. 基于改进的背景差分的运动目标实时检测算法[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(7): 1352-1356.
- [9] 王小俊, 刘旭敏, 关永. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 196-198, 202.
- [10] 金汉均, 梅洪洋. 基于 CUDA 的图像快速并行细化算法的研究与实现[J]. 电子测量技术, 2014, 37(8): 75-79.
- [11] ZHANG N, WANG J L, CHEN Y S. Image parallel processing based on GPU (EI CONFERENCE)[C]. 2010 IEEE International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2010, 2010: 367-370.
- [12] PARK I K, SINGHAL N, MAN H L, et al. Design and performance evaluation of image processing algorithms on GPUs [J]. Parallel & Distributed Systems IEEE Transactions on, 2011, 22(1): 91-104.
- [13] BERNABE S, LOPEZ S, PLAZA A, et al. GPU implementation of an automatic target detection and classification algorithm for hyperspectral image analysis[J]. Geoscience & Remote Sensing Letters IEEE, 2013, 10(2): 221-225.
- [14] PHAM V, VO P, HUNG V T, et al. GPU implementation of extended gaussian mixture model for background subtraction [C]. 2010 IEEE RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF), 2010: 1-4.
- [15] GOYETTE N, JODOIN P M, PORIKLI F, et al. Changedetection net: A new change detection benchmark dataset[C]. 2012 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), IEEE, 2012: 1-8.

## 作者简介

金汉均, 1963 年出生, 博士, 教授, 主要研究方向为图像语义理解、计算机视觉分析以及可视化数据挖掘等。

曾婷(通讯作者), 1992 年出生, 硕士研究生, 研究方向为图像与视频处理。

E-mail: 1449677208@qq.com