

文章编号: 1672-8785(2014)03-0023-04

基于 GPU 并行运算的红外运动目标 实时增强算法

金肖依¹ 彭 晨² 鲁争艳¹ 杨 侃¹

(1. 华东光电集成器件研究所, 江苏 苏州 215163;

2. 江苏省光谱成像与智能感知重点实验室, 江苏 南京 210094)

摘 要: 在一些复杂场景中, 红外目标容易受到背景杂波及噪声的干扰, 因此难以被准确地检测和识别出来。提出了一种基于光流的红外运动目标增强算法, 即利用运动目标与背景之间的速度场差异对目标进行增强处理。同时, 对该算法进行了基于计算机图形处理器 (Graphic Processor Unit, GPU) 并行运算的优化, 使其可以在线实时运行。与运动目标检测中常用的帧差法和背景差分法相比, 本文算法具有更好的稳健性。由于对实际的红外视频进行了运动目标增强处理, 该算法表现出了较好的增强效果和实时性能。

关键词: 红外; 运动目标增强; 光流; GPU

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2014.03.005

Moving Infrared Target Enhancement Algorithm Based on Parallel Processing Mode of GPU

JIN Xiao-yi¹, PENG Chen², LU Zheng-yan¹, YANG Kan¹

(1. East China Institute of Photo-electron IC, Suzhou 215163, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Spectral Imaging & Intelligent Sense, Nanjing 210094, China)

Abstract: In some complex scenes, infrared targets are difficult to be detected and recognized due to the interference of clusters and noise. A moving infrared target enhancement algorithm based on optical flow is proposed. In the algorithm, a moving target is enhanced by using the velocity field difference between the target and the background. The algorithm is optimized on the basis of the parallel processing mode of a Graphic Processor Unit (GPU). It can be implemented on line in real time. Compared with the frame difference method and background subtraction method commonly used in moving target detection, this algorithm is more robust. Because the moving target in the actual infrared video is enhanced, better real-time target enhancement effectiveness of the algorithm is revealed.

Key words: infrared; moving target enhancement; optical flow; GPU

0 引言

红外热成像技术摄取景物的红外辐射分布

图像, 并将其转换为人眼可见的图像, 因此在军事侦察、夜视以及民用安防等领域具有重要作用^[1]。在红外视频中, 一般可以根据目标与背

收稿日期: 2013-12-20

作者简介: 金肖依 (1986-), 女, 江苏苏州人, 工学硕士, 主要研究方向为光电信息探测与图像处理、数模混合信号处理电路设计。E-mail: jin_xiao_yi@yeah.net

景的红外辐射差异来对目标进行检测和识别。但在一些复杂场景中, 目标信号往往会受到背景杂波及噪声的干扰, 难以被准确地检测和识别出来。本文提出一种针对红外运动目标的实时增强算法, 通过对红外运动目标进行实时增强处理, 使后续的红外目标检测识别算法变得更加有效。

目前常用的运动目标检测增强方法主要包括帧差法、背景差分法以及光流法^[2]。其中, 帧差法简单快速, 但难以分割出完整的运动目标; 背景差分法能够完整、快速地分割出运动目标, 但易受光线变化的影响, 且不适用于摄像头运动的情况; 光流法具有较强的稳健性, 能够检测独立运动的目标, 并可用于摄像头运动的情况, 但计算复杂耗时。本文采用光流法对红外视

频中的运动目标进行增强处理, 同时利用 GPU 并行运算技术实现光流法的实时计算。

我们对光流算法进行了并行处理的优化, 使其能在并行处理架构的硬件——GPU 中运行。由于专门用于高强度计算和高并行计算(图形渲染), GPU 被设计成将更多的晶体管用于数据处理, 而不是像中央处理器(Central Processing Unit, CPU)那样将大部分晶体管用于缓存和分支预测。因此, GPU 的浮点计算速度远远高于同时期的 CPU^[4], 如图 1(a) 所示。同时, GPU 内部的数据带宽也远远高于 CPU 的内存子系统带宽^[3], 如图 1(b) 所示。通过用 GPU 完成之前由 CPU 完成的计算工作, 可以大大提高系统的整体性能。

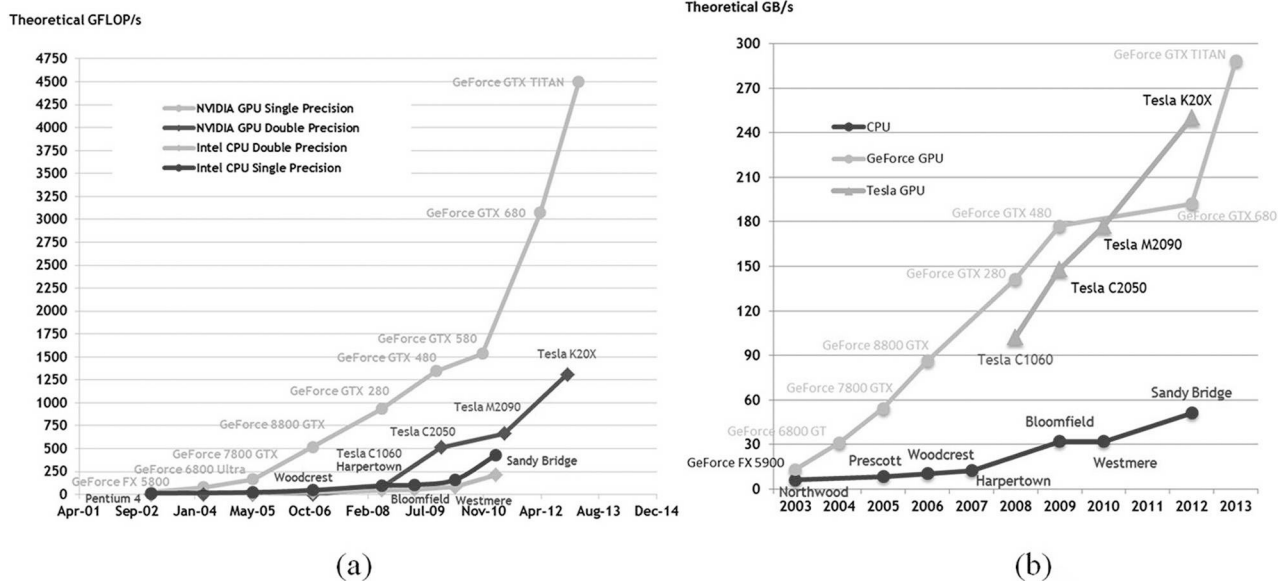


图 1 (a) GPU 与 CPU 的浮点运算速度对比; (b) GPU 与 CPU 的内存带宽对比

1 基于光流的运动目标增强算法

根据目标的运动特性, 红外运动目标与背景之间存在速度差异, 而光流算法可估计出场景图像的速度场, 从而利用目标的光流特征对目标进行增强处理。Horn B K 等人最早提出了一种有效的光流计算方法^[5]。他们假设整幅图像上的光流都是平滑的, 提出了一种整体的可使光流的平滑度和自身偏差减至最小的平滑约

束。这种约束可表述为最小化能量方程:

$$E = \iint [(I_x u + I_y v + I_t)^2 + \alpha^2 (\|\nabla u\|^2 + \|\nabla v\|^2)] dx dy \quad (1)$$

式中, I_x 、 I_y 和 I_t 分别为图像灰度值在 x 、 y 和时间 t 三个维度方向上的导数; α 为规则化常数; $\mathbf{V}=[u(x,y), v(x,y)]^T$ 为光流矢量。

利用欧拉-拉格朗日方程对式 (1) 进行最小

化求解, 可以得到:

$$\begin{cases} I_x(I_x u + I_y v + I_t) - \alpha^2 \Delta u = 0 \\ I_y(I_x u + I_y v + I_t) - \alpha^2 \Delta v = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ 为 Laplace 算子。

在计算 Horn-Schunck 光流时, 由于场景的复杂性, 需要采用一种更稳健的光流估计算法, 因此我们采用由 Wedel A 等人提出的一种改进算法^[6]。他们对光流计算所作的改进主要是在每次迭代计算后进行中值滤波, 其具体流程如下:

Input : 两帧图像 I_0 和 I_1

Output : 光流场 u 和 v

for $L=0$ to max_level **do**

对 I_0 和 I_1 进行金字塔分解, 得到 I_0^L 和 I_1^L ;

end

初始化 $L=\text{max_level}$, $u^L = 0$, $v^L = 0$;

while $L \geq 0$ **do**

for $K = 0$ to max_warps **do**

计算 I_x^L 、 I_y^L 和 I_t^L ;

计算 u^L 和 v^L (式 (2));

对 u^L 和 v^L 进行 3×3 中值滤波;

end

if $L > 0$ **then**

对 u^L 和 v^L 进行上采样, 得到 u^{L-1} 和 v^{L-1} ;

end

end

计算图 2(a) 和图 2(b) 这两帧图像的光流场。

其中, 金字塔分解的层数为 3 层, 每层迭代运算

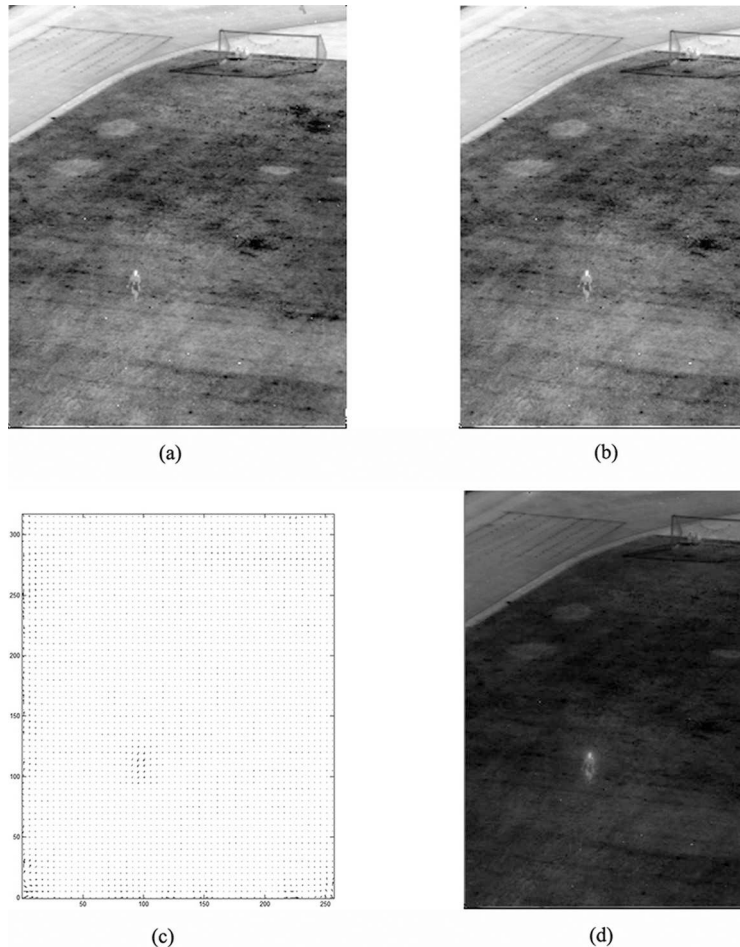


图 2 基于光流的红外运动目标增强效果: (a) ~ (b) 相邻的两帧图像; (c) 光流场; (d) 利用光流特征对 (b) 进行增强处理

20 次, 计算结果见图 2(c)。在图 2(b) 的基础上融合图 2(c) 中光流场矢量的长度信息, 其融合方法采用基于 YUV 空间的彩色融合方法^[7]:

$$\begin{cases} Y = k_1 I_c + k_2 I_{uv} \\ U = k_2 I_c - k_1 I_{uv} \\ V = -k_2 I_c + k_1 I_{uv} \end{cases} \quad (3)$$

式中, I_c 为当前图像; I_{uv} 为光流场矢量的长度图像; Y 、 U 、 V 为融合后的图像的彩色分量; k_1 和 k_2 为常量, 取 $k_1 = 0.9$, $k_2 = 0.1$ 。图 2(d) 所示为融合效果。可以看到, 在图 2(d) 中运动的人体目标得到了明显的增强。

2 基于 GPU 并行运算的实时性优化

前面所提到的算法的主要计算任务是对每个像素的光流进行迭代求解。如图 3(a) 所示, 按照常规的单线程运行方式, 求解整幅图像的光

流需要求解 $W \times H$ 次, 其中 W 和 H 分别为图像的宽度和高度。

由于 GPU 内部产生线程和调度线程的代价都较小, GPU 能够通过生成很多线程来并行执行计算操作, 而且每个线程所执行的指令均相同, 但所操作的数据不同, 即单指令多线程 (Single Instruction Multiple Threads, SIMT) 结构。整幅图像的光流求解在 CPU 上需要运行 $W \times H$ 次。每次执行的指令都是相同的, 只是针对的数据不同。因此, 我们可以将光流求解过程转换为 SIMT 的结构, 即建立 $W \times H$ 个线程, 其中每个线程只需计算其对应元素, 如图 3(b) 所示。那么在 CPU 程序中被重复执行的光流求解操作则可利用 $W \times H$ 个线程同时完成。

我们对本文提出的红外运动目标增强算法进行了基于 GPU 的并行优化, 在 GeForce GTX680 芯片上处理了 500 帧图像。图 4 所示为每帧图像

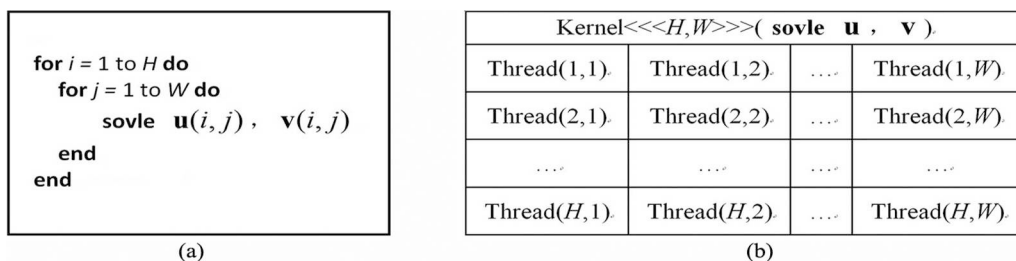


图 3 (a) 光流的 CPU 求解; (b) 光流的 GPU 求解

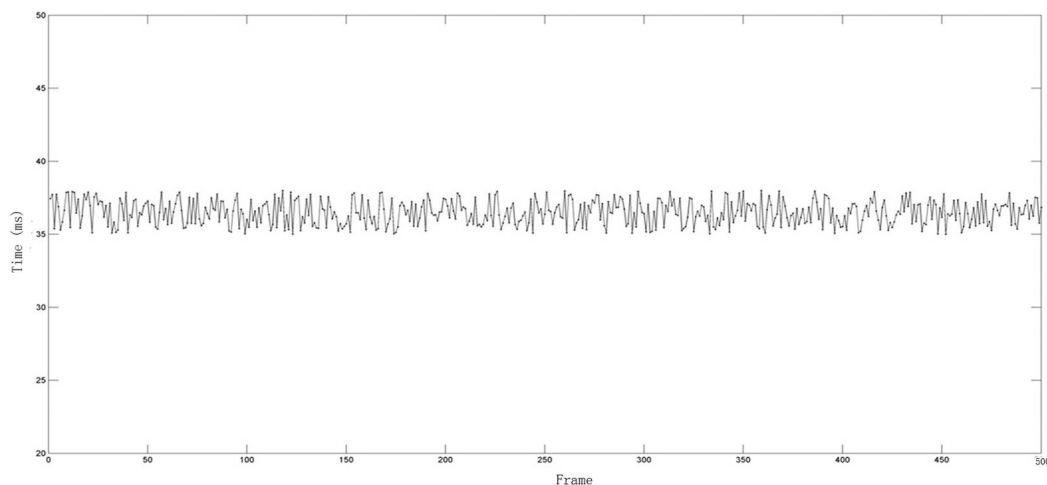


图 4 基于 GPU 并行运算的红外运动目标增强算法的处理时间

(下转第 32 页)