

# 航空信息系统中基于 CPU&GPU 结构的条码识别技术的研究

王 鹏<sup>1</sup> 刘山杉<sup>2</sup>

(天津大学管理学院 天津 300192)<sup>1</sup> (军事交通学院汽车指挥系 天津 300161)<sup>2</sup>

**摘 要** 针对当前航空信息传递过程中图像摄入模式的条码识别系统在高分辨率采集图像下识别速度较慢的问题,提出了一种新的基于 CPU+GPU 并行处理的条码识别系统架构,并给出了系统的设计方案。最后,研究了识别系统中图像噪声处理的关键技术,并讨论了适于在 GPU 上运算的 QNLM 滤波算法,不仅较好地解决了处理速度问题,而且验证了该系统的可行性。

**关键词** QR 码, CPU&GPU, 图像处理, NLM

**中图分类号** TP303 **文献标识码** A

## Research of Barcode Recognition Technology Based on CPU&GPU in Aviation Information System

WANG Peng<sup>1</sup> LIU Shan-shan<sup>2</sup>

(Management College, Tianjin University, Tianjin 300192, China)<sup>1</sup>

(Auto Command Department, Military Transportation University, Tianjin 300161, China)<sup>2</sup>

**Abstract** For the low speed recognition of barcode recognition system in high-resolution image, which based on image acquisition in aviation information system, this paper proposed a new kind of barcode recognition system structure which based on GPU & CPU parallel processing, and presented the solution of the system. At last, investigated critical technology of image noise processing in recognition system and discussed the QNLM filter arithmetic which was suitable for operating on GPU. The method not only made the processing speed faster, but also had been verified feasible.

**Keywords** QR Barcode, CPU&GPU, Image processing, NLM

## 1 引言

在信息技术飞速发展的当今现代,条码技术因其识别快速与准确,应用越来越广泛。条码信息的提取技术是条码技术的核心,传统的条码信息提取是基于光电扫描技术的,但随着近年来数字图像处理技术的飞速发展,已经出现了基于摄像机、数字照相机等图像摄入模式的条码译码系统<sup>[1]</sup>。图像摄入模式译码系统的出现使条码技术发生了划时代的革命,为其深入各个领域奠定了坚实基础。

目前,航空信息传递所采用的基于图像摄入模式的 PC 机条码译码系统中,数字图像处理以及解码都是由计算机的 CPU 来完成的,对于识别高信息量的条码图像会造成 CPU 运算任务呈指数上升,影响识别的效率。近年来随着计算机图形处理器 GPU 的飞速发展,图形显示芯片所集成的晶体管数目已经大大超过了 CPU 所集成的晶体管数,运算能力比 CPU 高上百倍。同时,当前的图形显示芯片还具有高度的可程序化能力、相当高的内存带宽和大量的独立执行单元,为开发基于 GPU 的系统提供了有力的技术支持。因此研究基于 GPU 的条码识别系统是很有现实意义的,技术上也是可行的。

## 2 方案的研究与设计

### 2.1 基于 CPU+GPU 处理的并行架构研究<sup>[2]</sup>

基于 CPU 进行图像处理的条码识别系统中,处理的各个流程都是严格地顺序执行,其处理流程如图 1 所示。

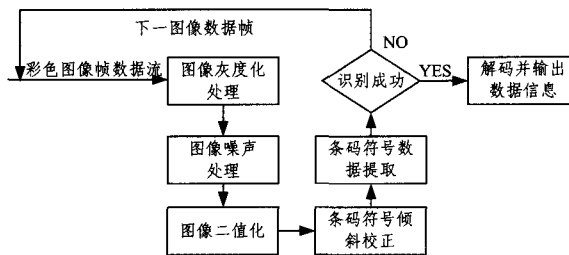


图 1 基于 CPU 进行图像处理的条码识别系统结构

根据 NVIDIA 公司的最新 GPGPU 模型 CUDA (Compute Unified Device Architecture, 计算统一架构), 软件系统在计算机上的运行分成两个部分: Host 端与 Device 端。Host 端是指在 CPU 上执行的部分, 而 Device 端则是指在显示芯片 GPU 上执行的部分, 又称为“kernel”<sup>[3]</sup>。论文所研究的条码识别系统的总体架构如图 2 所示, 根据 CUDA 架构, 在 Host 端分为两个线程, 分别为视频图像采集操作线程和

本文受国防基金项目:航空应急输送保障基地建设(BLL13L018)资助。

王 鹏(1974—),男,博士生,副教授,主要研究方向为军事交通运输规划与管理, E-mail: wpywhtpp@163.com; 刘山杉(1983—),男,硕士生,讲师,主要研究方向为军事交通运输规划与管理。

条码解码线程,在 Device 端进行一系列的数字图像处理。

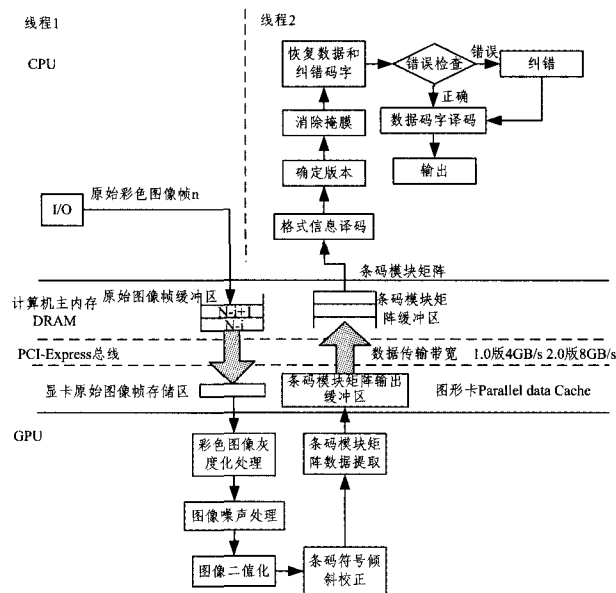


图2 基于CPU+GPU并行处理条码识别系统架构

在 Host 端的两个线程的工作原理与传统的条码识别程序大致相同,所不同的是在 Host 端线程 1 需将采集到的视频图像帧复制到显卡的显存中,这个过程需要通过 CPU 与图形显示卡的高速通道——PCI-Express 接口。线程 2 等待 Device 端计算完成后从显卡显存中取出结果数据,即可进行下阶段一系列的译码工作。

在论文研究的条码识别系统的架构中,数字图像处理工作主要是由 Device 端来完成,之所以设计成这样的架构有以下两个原因:

(1)PCI-Express 图形接口传输速率的限制。CPU 存取显卡显存只能通过 PCI-Express 图形接口,尽管 PCI-Express X16 2.0 版总线的带宽能够达到双向 8GB/s 的理论带宽,但是相对于显示芯片 GPU 所具有的内存带宽来说,接口速率则慢很多。例如,NVIDIA 的 GeForce 8800GTX 具有超过 50GB/s 的内存带宽<sup>[4]</sup>。因此在整个系统架构中,将数字图像处理部分完全交给 Device 端来完成,这对提高系统整体效率很有帮助。

(2)GPU 是一个高度并行化的计算单元,适宜于处理大量并行计算的工作,对于处理条件分支流程则效率较差。在论文研究的基于 GPU 的条码识别系统中,条件分支预测判断都移交到 Host 端来处理,如其确定版本、错误检查等。CPU 做条件分支预测判断的效率要比 GPU 高很多,这主要是因为显示芯片 GPU 通常不具有分支预测等复杂的流程控制单元。然而,GPU 却比 CPU 有多得多的执行单元,例如 GeForce8800GTX 具有 128 个“stream processors”,频率为 1.35GHz<sup>[4]</sup>。虽然 CPU 的单个核心的频率会比 GPU 的单个“stream processor”高,但是执行单元的数目却少很多,尽管目前 Intel 公司和 AMD 公司都推出了核心频率高于 2.4GHz 的四核 CPU,但是在做大量并行计算时效率还是比一块 8800GT 核心的 GPU 低很多,且四核 CPU 的价格比图形显示卡 8800GT 的价格还贵很多。因此在系统架构中,将数字

图像处理部分完全交给 GPU 来完成,这是一个需要作大规模计算的工作,且能够对图像进行分块而实现高度并行化计算,使图形处理器 GPU 能够发挥出它的完全性能。

由此可见,在目前的硬件技术条件下,论文所研究的条码识别系统的 CPU 与 GPU 并行处理架构是合理的,能够充分发挥各种处理器的最佳性能,对提高识别系统的整体效率很有意义。

## 2.2 关键技术研究

### 2.2.1 图像 Non Local Means(NLMD)噪声处理<sup>[5,6]</sup>

整个光学系统自身存在一定的噪声,尽管可以通过使用高质量的镜头或者是 CCD 感光芯片来达到改善画质、降低图像噪声的目的,但最终都不可能完全消除噪声。这些噪声严重则会影响到条码识别系统的识别率,因此视频采集系统捕获到的条码图像必须先经过图像噪声处理,才能用于后继的译码流程。然而,如果采用 CPU 来进行实时视频图像的噪声处理,随着采集图像分辨率的提高,很难达到理想的处理帧速。随着当前 DirectX 10 类图形硬件的发展,用图形处理器 GPU 不仅可以进行高分辨率图像的噪声处理,而且处理分辨率为 1024×768 的图像速度能够达到 60 帧/秒以上,完全能够满足实时视频图像处理的要求。

在各种图像高斯白噪声处理算法中,Non Local Means (NLM)滤波算法的效果较好。NLM 滤波算法属于领域滤波,其主要思想就是通过像素间色彩的相似程度来计算它们的权重,如图 3 所示。

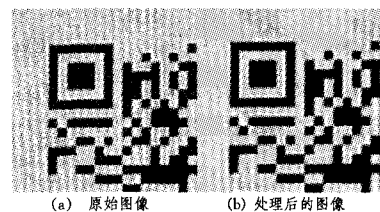


图3 NLM滤波处理

令  $u(x)$  为原始噪声图像,  $NLM_{h,r,B}u(x)$  由 NLM 滤波算法处理降噪后的结果图像,其中  $h$ 、 $r$  和  $B$  是 NLM 滤波算法的 3 个参数。令  $\Omega(p)$  为以像素  $p$  为中心的空域,块大小为  $N \times N$ ,  $N=2M+1$ 。令  $B(q)$  为以像素  $q$  为中心的空域,假设  $B(q)$  的像素块大小为  $K \times K$ ,其中  $K=2L+1$ ,  $q$  是  $B(q)$  的中心像素点。由此,得到  $NLM_{h,r,B}u(x)$  的计算公式为:

$$NLM_{h,r,B}u(x) = \frac{1}{C(x)} \int_{\Omega(x)} u(y) e^{-\frac{|y-x|^2}{r^2}} e^{-\frac{\text{ColorDistance}(B(x),B(y))}{h^2}} dy \quad (1)$$

式中,  $C(x)$  为标准化系数,  $\text{ColorDistance}(B(x),B(y))$  的计算公式如式(2)所示。

$$\text{ColorDistance}(B(x),B(y)) = \frac{1}{S(B)} \int_{B(x)} |u(y+(x-a)) - u(a)|^2 da \quad (2)$$

式中,  $S(B)$  是域  $B$  的一个区域。因此  $\text{ColorDistance}(B(x),B(y))$  表示的是包围像素  $u(x)$  的像素块和包围像素  $u(y)$  的像

(下转第 378 页)

[13] 王筱艳,汪天富,李德玉,等. 一种改进的各向异性高斯滤波算法[J]. 西南民族大学学报,2007,33(1):120-123

[14] 高阳. 成像制导中的图像预处理及目标识别技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2006:16-32/36-38

[15] 王小红. 矩技术及其在图像处理和识别中的应用研究[D]. 西安:西北工业大学,2001:8-22/113-117

[16] 杨浩,裴蕾,李昌顺. 基于 Zernike 矩亚像素边缘检测的快速算法[J]. 计算机应用研究,2011,28(11):4380-4385

[17] 罗希平,田捷,诸葛婴,等. 图像分割方法综述[J]. 模式识别与人工智能,1999,12(3):300-301

[18] 周鲜成. 图像分割方法及其应用研究综述[J]. 信息技术,2007,7(12):11-13

[19] 韩思奇,王蕾. 图像分割的阈值法综述[J]. 系统工程与电子技术

术,2002,24(6):91-94

[20] 王琪. 室内安检毫米波辐射特性分析与图像特征提取[J]. 南京:南京理工大学,2013:43-45

[21] 阴国富. 基于阈值法的图像分割技术[J]. 现代电子技术,2007,7(23):107-108

[22] Pun T. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Signal Process,1980,2(3):223-237

[23] Pal S K, King R A, Hashim A A. Automatic grey level thresholding through index of fuzziness and entropy[J]. Pattern Recognition Letters,1983,1(3):141-146

[24] 罗卫兰,杨勋年,郑建民. B 样条曲线的约束光顺算法[J]. 浙江大学学报,2004,31(1):51-56

(上接第 358 页)

素块之间的相异程度。

### 2.2.2 NLM 滤波算法的适应性改进

本文所研究的基于 GPU 的条码识别系统采用 QNLM (Quick Non Local Means) 滤波算法来进行噪声处理,这主要是因为 NLM 滤波算法虽然噪声处理效果很好,但是在 GPU 上的处理速度很慢。经过多次实验,在一台配置如表 1 所列的实验计算机上运行该算法,处理分辨率为  $1024 \times 768$  的视频图像平均帧速仅为 8.6 帧/秒,其不适宜作实时图像处理。

表 1 实验计算机配置

CPU 显卡内存		
AMD X2	8800GT	4GB
6000+	512MB 显存	

仔细分析,可以发现在 NLM 算法中,每做一次像素点计算 GPU 需要作  $O(N^2 \times K^2)$  次的取纹理数据操作。由于 GPU 在处理问题的方式上与 CPU 大不相同,其主要以大量并行计算作为特性,在存取数据时还存在显存 latency 问题。NLM 算法复杂,需要多次访问纹理显存数据来进行计算,然而显存的存取本身又存在 latency 问题,这些原因综合起来使得 NLM 算法在 GPU 上运行的效率很低。

本文采用的 QNLM 算法假定像素块  $\Omega(p)$  的  $N \times N$  个像素的值都是一致的,因此只需计算出块  $\Omega(p)$  的中心像素值,然后用这个值参与  $\text{ColorDistance}(B(x), B(y))$  的计算。这样 GPU 对显存的存取操作次数就能减少  $O(N^2)$ 。例如,如果取像素块  $\Omega(p)$  的块大小为  $9 \times 9$ ,则 QNLM 算法将会比 NLM 算法快 81 倍。

由图 4 可知, QNLM 滤波算法的噪声处理效果较原始 NLM 算法稍差,但是处理速度却快很多。经过多次实验证明,在实验计算机上 QNLM 滤波算法能够达到平均 96 帧/秒的处理速度,能够完全满足实时图像噪声处理的要求。这对于论文所研究的条码识别系统的实时识别具有重要意义。

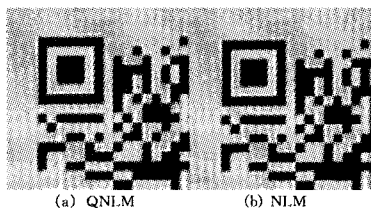


图 4 两种算法处理结构图像

**结束语** 在二维条码图像的实时采集与识别中,随着二维条码信息含量的增加,需要采集到高分辨率的条码图像才可能识别出条码的信息。但是在传统的基于 CPU 处理的条码识别系统中,高分辨率的条码图像会造成 CPU 运算任务呈指数上升,最终造成识别系统无法满足实时采集与识别的要求。

可编程 GPU 的出现,以及 NVIDIA 公司的 GPGPU 模型 CUDA 的诞生,使得开发在显示芯片 GPU 上进行大规模计算的程序成为了可能,为解决上述问题打开了一扇大门。为此,本文提出了基于 CPU 与 GPU 并行处理架构的条码识别系统。在该架构中把图像采集与条码解码工作放在 CPU 上来完成,把需要作大规模计算的图像处理工作放在 GPU 上来完成,利用双处理器的并行工作能力,加快了高分辨率条码图像的识别速度。同时本文又对该系统的关键技术部分——NLM 噪声处理——进行了详细的研究,采用了能在 GPU 上高速运行的 QNLM 算法来进行图像的高斯白噪声处理,不仅效果明显,而且处理速度较 NLM 滤波算法快几十倍。

由此,本文提出利用可编程 GPU 来加速条码识别系统的图像处理速度,最终达到加快识别系统识别速度的目的,这不仅在技术上是完全可行的,同时还具有较强的实际意义。

### 参考文献

[1] 范永法. 条码图像识别系统研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(4):488-489

[2] 朱明莉. 二维条码识别与应用的研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006

[3] CUDA Zone 中文站. 深入浅出谈 CUDA[EB/OL]. <http://cuda.csdn.net>,2009-1-16

[4] NVIDIA 公司. NVIDIA CUDA 编程指南[EB/OL]. <http://www.nvidia.cn/>,2009-1-16

[5] Alexander K, Victor P. Image Denoising [M/OL]. NVIDIA, 2007. <http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/sdk/website/projects/imageDenoising/doc/imageDenoising.pdf>,2007-07-20

[6] Buades A, Coll B, Morel J M. Neighborhood Filters and PDE's [J]. Numerische Mathematik,2006,105(1):1-34