

基于 CUDA 的航天遥感图像实时快视系统的研究

董敏^{1,2,3}, 阎镇²

- (1. 中国科学院 光电研究院, 北京 100094;
2. 中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京 100094;
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:随着实践中航天下行数据速率和类型的剧增,地面遥感图像实时快视系统需要要有更强的数据处理能力和更好的显示效果。对于大批量的数据,采用传统的中央处理器(CPU)进行数据处理耗时较长,而且滞后严重。为了解决这个问题,文中提出向实时快视系统中引入 CUDA 平台的方案,利用 GPU 强大的通用计算能力加速图像数据的解析和显示。利用这项技术,可以获得数倍于传统 CPU 处理方案的效率,并且可以优化显示效果,而且随着硬件设备的升级,效率还可以得到进一步的提升。

关键词:CUDA;遥感图像;GPU;实时快视系统

中图分类号:TP399

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)06-0032-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.06.008

Research on Aerospace Remote Sensing Images Real-time Quick-view System Based on CUDA

DONG Min^{1,2,3}, YAN Zhen²

- (1. Academy of Opto-electronics, China Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
2. Technology and Engineering Center for Space Utilization, China Academy of Sciences, Beijing 100094, China;
3. Graduate University of China Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the rapid growth of space downlink data rate and type, ground sensing imaging real-time quick-view system requires faster processing power and better display effect. For large amounts of image data, the traditional method of data process conducted by CPU will cost too much time and have a great hysteresis. To solve the problem, present a method of introducing the CUDA platform to the real-time quick-view system, accelerating the process and display of image data by means of great computing capacity of GPU. With this method, the system can achieve a processing speed several times faster than traditional processing method by CPU, which makes the real-time image display better. In addition to this, it can get higher efficiency with the promotion of hardware.

Key words: CUDA; sensing image; GPU; real-time quick-view system

0 引言

航天遥感图像实时快视系统是航天地面系统的一个重要组成部分。随着我国空间探测任务的深入,传感器技术、空间技术的发展,有效载荷数量急剧增长,用户对航天遥感图像处理的速度和效果提出了更高的要求。目前超大数据量的遥感图像处理是在地面站处

理中心完成,这对航天遥感图像实时快视系统的性能是一个极大的挑战^[1]。

CUDA(Compute Unified Device Architecture)是建立在 GPU 基础之上的通用计算开发平台,它是业界第一款不需要图形学 API 就能使用类 C 语言进行通用计算的开发环境和软件体系,这大大增强了 CUDA 的

收稿日期:2013-07-18

修回日期:2013-10-25

网络出版时间:2014-02-24

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2007AA120202)

作者简介:董敏(1989-),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向为航天地面支持系统;阎镇,硕士,高级工程师,研究方向为空间科学与应用科学数据可视化。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140224.0857.005.html>

普及速度和普及成本。CUDA 能够有效利用 GPU 强劲的处理能力和巨大的存储器带宽进行图形渲染以外的计算,广泛应用于图像处理、视频传播、信号处理、人工智能、模式识别、金融分析、数值计算等领域,并在这些领域中对 CPU 获得了一到两个数量级的加速,取得了令人瞩目的成绩^[2]。

文中基于实时快视系统的性能需求,引入 CUDA 平台加速遥感图像数据的处理和显示,有效提高了实时快视系统的处理速度,优化了显示效果。

1 CUDA 统一计算架构

CUDA 的基本思想是尽量地开发线程级并行 (Thread Level Parallel),这些线程能够在硬件中被动态的调度和执行^[3]。重点是将 CPU 做为终端 (Host),而 GPU 做为服务器 (Server) 或协处理器 (Coprocessor),或者设备 (Device),从而让 GPU 来运行一些能够被高度线程化的程序。CUDA 是一种并行编程模型和软件环境,保证熟悉 C 语言等标准编程语言的程序员能够迅速掌握 CUDA。

调用核程序时,CPU 调用 API 将显卡端程序的二进制代码传到 GPU。Kernel 不是一个完整的程序,而只是其中的一个关键并行计算步。Kernel 以一个网格 (grid) 的形式执行,每个网格由若干个线程块 (block) 组成,每一个线程块又由最多 512 个线程 (thread) 组成。grid 之间通过 global memory 交换数据。block 之间不能相互通信,只能通过 global memory 共享数据,不要让多个 block 写同一区段内容 (不保证数据一致性和顺序一致性)^[4]。同一 block 内的 thread 可以通过 shared memory 和同步实现通信。block 间粗粒度并行,block 内 thread 细粒度并行^[5]。

2 实时快视系统分析

2.1 实时快视系统现状

遥感图像实时快视系统包括前端服务器、快视服务器、快视客户端三个部分,系统网络结构如图 1 所示。

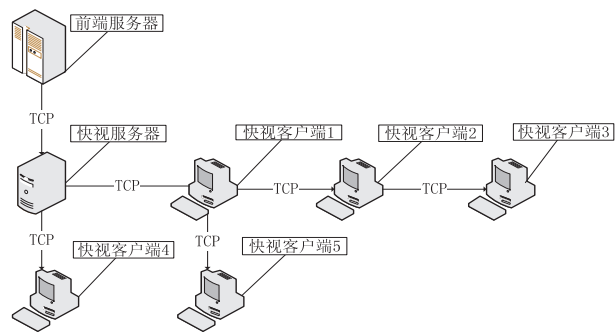


图 1 快视系统网络结构

文中主要研究部署在工作站上的快视客户端部分。

航天下行数据下行至前端服务器后,前端服务器将图像数据 TCP 发送给快视服务器。快视服务器以 TCP 方式发送图像数据到各个快视客户端,快视客户端根据用户需求对图像数据进行处理并显示。快视客户端支持 TCP 转发图像数据。

快视客户端接收到 TCP 转发图像数据后,存储在磁盘阵列上。将磁盘上的文件读入内存并分路为图像帧和辅助信息帧后,根据用户的需求对数据进行处理并显示图像或辅助数据^[6]。

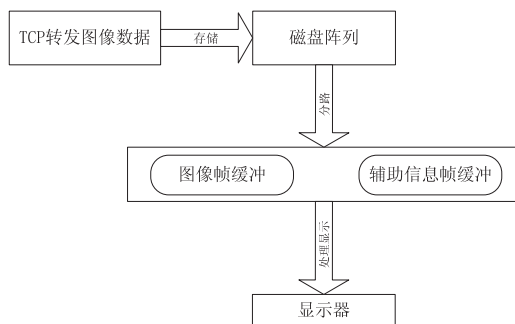


图 2 快视客户端工作流程图

2.2 存在的问题

现有的快视系统中,TCP 转发图像数据的速度已经达到了 100 Mbps 以上。在 TCP 高速转发情况下,以现有的微机处理能力很难做到实时显示。大量的时间耗费在逐个抽取单幅图像的像素值,并进行相应的数学运算绘制图像上。例如某载荷数据的位彩色实现,现行方法就是从多个谱段中随机抽取三个谱段,顺序取其作为图像的 RGB 分量显示。尤其是随着航天技术的发展,航天下行遥感图像的分辨率越来越高,单幅图像数据量增大,这成为了快视系统的一个瓶颈。

其次,在快视系统中,由于处理的数据量大而且速率快,某些图像数据的采集过程比较复杂,难以做到实时显示。例如某种下行的图像数据分多个通道下行,并且时间可能不一致。快视系统要求能够组合多个通道数据形成一个全局的概览图,但以现有的性能很难做到这一点。

2.3 利用 CUDA 加速快视系统可行性分析

由于硬件结构的不同,GPU 的处理能力远远超越了 CPU,高端的 GPU 处理能力达到了 Tflops/s 级别,运用 GPU 可以在中小型计算机上以低廉的价格实现真正的通用计算。此外,GPU 显存带宽高达 177 GB/s,同样超越了 CPU 的 8 GB/s^[2]。强大的运算能力和高带宽,对于需要做大量数据处理和数据复制工作的图像显示不啻是个福音。

国防科技大学的地面移动遥控机器人系统中采用了 CUDA 进行图像处理。在处理图像拼接时,相对于

单纯 CPU 的处理方式,经过 CUDA 加速之后,从 150 * 100 到 4 288 * 2 848 分辨率的图像,处理显示速度都有了一个数量级以上的提升,而且提升倍率随着分辨率和匹配窗口的提高而急剧提升^[7]。在整个过程中, GPU 的性能表现一直比较稳定,而 CPU 则随着处理图像数据复杂度的上升遇到性能瓶颈。由此可见,利用 CUDA 提高快视系统的性能是极具现实意义的。

2.4 基于 CUDA 的航天遥感图像快视系统架构

由以上分析可知,可以在 NVIDIA GPU 硬件基础上,增加一个快视应用库到 CUDA 平台上,由各种类型遥感器下行数据快视模块调用,架构设计如图 3 所示。

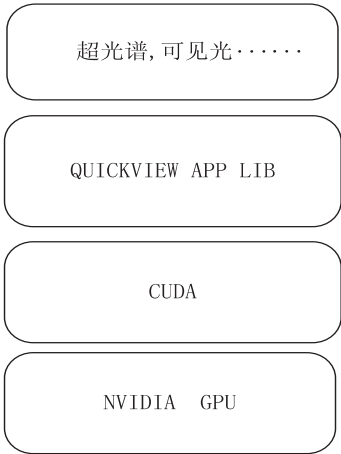


图 3 基于 CUDA 的快视应用库架构

3 GPU 加速图像显示方法研究

利用基于 CUDA 的快视应用库,可以从多方面优化航天遥感图像快视系统,加快显示速度,增强显示效果。

- 1) 图像处理速度优化;
- 2) 图像概览图生成;
- 3) 图像伪彩色显示优化;
- 4) 图像数据解压缩优化加速;
- 5) 视频数据编解码加速;
- 6) 遥现场图像显示增强。

此外,根据应用场景的需求,例如图像拼接和图像融合等需要很大计算量的问题^[8-10],可以动态地扩充基于 CUDA 的快视应用库,从而提供更多的功能。

3.1 图像处理速度优化

针对上文提到的快视图像数据处理显示速度慢的问题,可以利用 CUDA 解决。以一种图像数据为例:要求从 14 位数据中截取 8 位作为一个像素点显示,可以动态进行向右移位处理,移位数为 0 ~ 6。显示灰度为 256 级,同时对图像做拉伸变换并开方,增亮显示。运算公式如下:

$$Y= \text{BYTE}(255 \sqrt{\frac{\text{double}(X-X_{\min})}{\text{double}(X_{\max}-X_{\min})}})$$

其中,最大像素值为 255,最小像素值为 0。

现行的提取图像数据方法是遍历全部图像数据,利用移位和位与运算提取出图像数据。这种方法由于需要过多的逻辑判断,而且字节不对齐,不适用于 CUDA 平台上。实际上,根据求 14 与 8 的最小公倍数可知,14 位原始图像数据每隔 7 个字节(56 位)对齐,如图 4 所示。

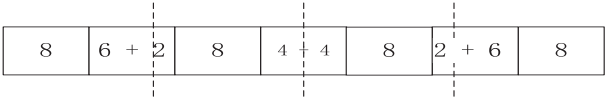


图 4 原始数据字节划分

由图 4 可知,在原始数据中,每 7 个字节中包含 4 个像素点数据。而且,一旦确定每个像素点的移位数,7 个字节中每个像素点的确定位数也可以直接确定。第一、四个像素点数据需要两个字节装载,第二、三个像素点数据需要三个字节装载,实际中分别使用 short 型整数和 long 型整数作为容器。这种方法避免了过多的逻辑判断,利于并行,可以利用 CUDA 进行处理优化。

核心代码如下:

```
__global__ void ShowKernel ( byte * c, const byte * a, int shift)
{
    //计算当前线程 ID 值
    int x=threadIdx. x+blockIdx. x * blockDim. x;
    int y=threadIdx. y+blockIdx. y * blockDim. y;
    long i=x+y * blockDim. x * gridDim. x;

    short temp1,temp4;
    long temp2,temp3;
    byte buf1,buf2,buf3,buf4,buf5,buf6,buf7;
    float trade;

    //在当前实验中,NUM 为单幅图像数据字节数/4
    if(i<NUM)
    {
        //缓存 7 个字节数值,避免重复访存
        buf1 =a[7 * i];
        buf2 =a[7 * i+1];
        buf3 =a[7 * i+2];
        buf4 =a[7 * i+3];
        buf5 =a[7 * i+4];
        buf6 =a[7 * i+5];
        buf7 =a[7 * i+6];

        //由于 Windows 系统默认为小端模式,需要由字节
        计算出整数
        temp1 = ( buf1<<8)+buf2;
        temp2 = ( buf2<<16)+( buf3<<8)+buf4;
        temp3 = ( buf4<<16)+( buf5<<8)+buf6;
        temp4 = ( buf5<<8)+buf6;
```

```
//提取像素点数据
temp1=(temp1>>(8-shift))&0X00FF;
temp2=(temp2>>(10-shift))&0X000000FF;
temp3=(temp3>>(12-shift))&0X000000FF;
temp4=(temp4>>(6-shift))&0X00FF;
//按照公式进行运算并存储
trade=sqrtf(temp1/255.0);
c[4*i]=(byte)(trade*255);
trade=sqrtf(temp2/255.0);
c[4*i+1]=(byte)(trade*255);
trade=sqrtf(temp3/255.0);
c[4*i+2]=(byte)(trade*255);
trade=sqrtf(temp4/255.0);
c[4*i+3]=(byte)(trade*255);
}
```

这种方法可以推广为从 M 位数据中提取 N 位数据,右移位数为 K ,则可得:

- 1)原始数据可以切分成 $M/\gcd(M,8)$ 个字节的小块;
- 2)每块包含 $8/\gcd(M,8)$ 个像素点数据;
- 3)从零开始,第 T 个像素点数据在小块中位段为 $[TM+K, TM+K+N]$ 。

3.2 图像概览图生成方法研究

以 2.2 中所提到的多通道下行图像数据为例,生成图像全局概览图的需求如下:

- 1)对接收的多通道数据按照缩放比例抽点,每个通道均生成一幅全局概览图;
- 2)概览图框选中区域按照指定比例,在主屏上进行全部显示;
- 3)支持图像漫游。

在图像概览图生成中,主要的难点在于实时下进行抽点点运算并重绘图像。CUDA 提供了与 OpenGL 和 DirectX 交互的接口,可以在实时状态下快速绘制 2D 图像。以 OpenGL 为例,首先创建一个像素缓冲区对象(PBO),并通知 CUDA 与 OpenGL 共享这个对象。然后,启动核函数由 CUDA 生成将要显示的图像数据。最后,取消对共享缓冲区对象的映射,绘制图形并显示。西北工业大学的刘进锋证明,CUDA 和 OpenGL 互操作显示速度比不使用 CUDA 提高了 7 到 8 倍^[11-12]。

4 系统验证

应用基于 CUDA 的图像数据处理库进行程序实现和测试,在 Visual Studio 2010 平台下进行测试。实验中取 150 幅 $3\ 168 \times 640$ 的遥感图像数据进行 3.1 中的图像数据提取实验,观察单纯采用 CPU 和 CUDA 两种情况下的处理时间以及 CPU 资源利用率,结果如表 1

所示。

表 1 数据提取结果比较

测试项目	处理时间/ms	CPU 使用率/%
CPU	5 223.7	35
CPU+GPU	1 685.2	10

由表 1 可知,利用 CUDA 加速后,数据处理速度提高了三倍以上,同时大大降低了 CPU 使用率。

同样的实验在不同显卡上进行,以表 1 的 CPU 处理时间为基准得到的处理时间和加速比结果如表 2 所示(显卡性能区别由 NVIDIA 提供的计算能力表示)。

表 2 不同显卡加速效果比较

型号	计算能力	处理时间	加速比
GeForce405	1.2	1 685.2	3.0
GeForce540M	2.1	1 279.6	4.1

从表 2 可知,CUDA 具备良好的可伸缩性。随着硬件设备的改善,性能可以得到进一步的优化。

5 结束语

针对现在航天下行数据速率剧增的问题,文中提出将 CUDA 平台引入航天遥感图像快视系统,建立一个基于 CUDA 的快视应用库以加速图像处理,优化显示效果,并通过实践验证了 CUDA 加速快视系统的可行性,为今后在航天地面应用支持系统中得到广泛应用提供基础。实践证明利用 GPU 可以有效地加速快视系统,同时降低了资源利用率。在未来的工作中,根据实际的需求和应用场景,例如建立图像金字塔^[13]和实时宽幅图像显示^[14]等,可以自由地扩充和修改快视应用库。

参考文献:

[1] 高 昆,刘迎辉,倪国强,等.光学遥感图像星上实时处理技术的研究[J].航天返回与遥感,2008,29(1):50-54.

[2] Sanders J,Kandrot E. CUDA By Example[M].北京:机械工业出版社,2011.

[3] Farber R. CUDA Application Design and Development[M].北京:机械工业出版社,2013.

[4] 张 舒,褚艳利. GPU 高性能运算之 CUDA[M].北京:中国水利水电出版社,2009.

[5] NVIDIA Corporation. CUDA CBest Practices Guide Version 5.0[M].[s.l.]:NVIDIA,2012.

[6] 刘 鹏,张善从.基于 PC 的吉比特级数据采集快视系统[J].计算机工程,2009,35(23):234-236.

[7] 郭一汉.基于 CUDA 的实时图像拼接技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2011.

[8] 凌 瞳,赵 昕,侯 哲,等.基于 CUDA 的快速全景环带图像展开[J].计算机技术与发展,2011,21(11):23-26.

直水平面方向的倾斜角度 α_1, α_2 , 则天线的俯仰角度 $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ 。

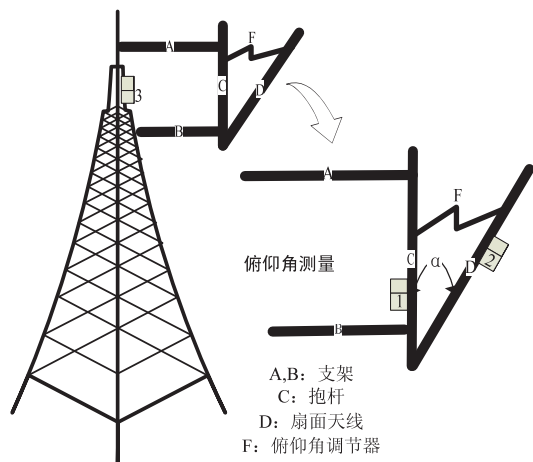


图5 塔上测量设备安装示意图

4.2 数据处理方案

(1) 平均法:经典的平均算法,多次测量取平均,可以一定程度上减少测量误差,达到可以接受的理想效果。

$$\alpha = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \alpha_n \quad (2)$$

其中, α 为输出数据; α_n 为每次测量直接得到的数据,经过 N 次测量取平均,该方法可以将测量信噪比提高 $10\log_{10}(N)$ dB。

(2) Kalman 滤波法:Kalman 滤波是一种高效率的递归滤波器(自回归滤波器)^[13],它能够从一系列的不完全包含噪声的测量中,估计动态系统的状态。采用的具体方法为利用如下公式:

$$\alpha_{\text{out}N} = [\alpha_{\text{out}(1 \dots N-1)} \times (n-1) + \alpha] / N \quad (3)$$

其中, $\alpha_{\text{out}N}$ 为第 N 次滤波器输出; $\alpha_{\text{out}(1 \dots N-1)}$ 为前 $N-1$ 次滤波器输出的平均值; α 为第 N 次测量的滤波前的结果^[14]。用这种方法统计处理测量的数据,输出结果将更加精确。

5 结束语

文中提出了一种新型的 GSM-R 无线通信基站天线倾角测量系统,并针对此测量系统提出了四种组网

测量的方法,以及测量设备的安装方法、测量数据的处理方法。通过此测量系统,可以大大降低测量工人的劳动强度,提高工作效率,减小危险系数。

参考文献:

- [1] 洪治. 浅谈高速铁路 GSM-R 系统干扰现状及对策[J]. 中国无线电, 2013(3): 28-29.
- [2] 何泽. GSM 网络优化-基站天线下倾技术的探讨[J]. 广东通信技术, 2003, 23(11): 5-9.
- [3] 束咸荣, 董玉良, 王华. 基站天线机械下倾和电下倾辐射特性分析[J]. 微波学报, 2012, 28(6): 43-45.
- [4] 黎雳, 吕黎. 新型移动基站天线角度监测系统[J]. 淮阴工学院学报, 2010, 19(3): 45-48.
- [5] 唐原广, 朱明垒. 海洋测量浮标太阳能 LED 锚灯系统的设计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(4): 165-167.
- [6] 龚冬梅. 单片机无线数据传输接口 C 程序设计[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2003, 13(8): 80-82.
- [7] Ushikubo Y. System for RF communication between a computer and a remote wireless data input device; U. S. Patent 5793359 [P]. 1998-08-11.
- [8] 刘皓波, 彭章友. 基于 CC1010 芯片的微型无线数据收发模块的设计[J]. 电子设计应用, 2004(5): 25-26.
- [9] Yu Yan, Ou Jinping, Zhang Jun, et al. Development of wireless MEMS inclination sensor system for swing monitoring of large-scale hook structures[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2009, 56(4): 1072-1078.
- [10] 林砺宗, 王子异, 刘磊. 基于 Ad Hoc 无线自组网测量系统组网技术研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 253-255.
- [11] 来虎军. 当前铁路通信技术及铁通专网发展概况分析[J]. 现代工业经济和信息化, 2012(22): 77-78.
- [12] Jiang Xuping. Network measurement policy system; a novel policy system for integrated network measurement[C]//Proc of IEEE international symposium on knowledge acquisition and modeling workshop. Wuhan: IEEE, 2008: 75-78.
- [13] Ran Chenjian, Deng Zili. Two average weighted measurement fusion Kalman filtering algorithms in sensor networks[C]//Proc of 7th world congress on intelligent control and automation. Chongqing: IEEE, 2008: 2387-2391.
- [14] 余翔, 冯璐, 漆晶. 一种组合式的 Kalman 滤波算法[J]. 电视技术, 2013, 37(9): 168-170.

(上接第 35 页)

- [9] 蔡丽欢, 廖英豪, 郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1-4.
- [10] 于芹芬. 遥感图像与地形图信息融合系统的研究和实现[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8): 182-184.
- [11] 刘进锋, 郭雷. CUDA 和 OpenGL 互操作的实现及分析[J]. 微型机与应用, 2011, 30(23): 40-42.
- [12] Si Xiaoshu, Zheng Hong. High performance remote sensing im-

age processing using CUDA[C]//Proc of 2010 third international symposium on electronic commerce and security. Guangzhou: [s. n.], 2010: 121-125.

- [13] 张宏伟, 童恒建, 左博新, 等. 基于 GDAL 大于 2G 遥感图像的快速浏览[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(13): 159-162.
- [14] 陈亮, 龙腾. 遥感图像实时宽幅显示技术研究及实现[J]. 微计算机信息, 2008, 24(10-3): 288-289.

基于CUDA的航天遥感图像实时快视系统的研究



作者：[董敏](#)，[阎镇](#)，[DONG Min](#)，[YAN Zhen](#)
作者单位：[董敏, DONG Min \(中国科学院 光电研究院, 北京 100094; 中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京 100094; 中国科学院大学, 北京 100049\)](#)，[阎镇, YAN Zhen \(中国科学院 空间应用工程与技术中心, 北京, 100094\)](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2014(6)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201406008.aspx