

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012
Vol.17 No.

4

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年4月 第17卷 第4期(总第192期)

目次

综述

图像分割中的模糊聚类方法 李旭超, 刘海宽, 王飞, 白春艳(447)

图像处理和编码

GPU 辅助的希尔伯特变换轮廓术 周波, 赵小敏, 王东平(459)

引入连续性强度和置信度因子的快速图像修复 李开宇, 孙玉刚(465)

自适应的有效非局部图像滤波 许光宇, 檀结庆, 钟金琴(471)

改进的 PMD 距离图像超分辨率重建算法 张旭东, 沈玉亮, 胡良梅, 陈菁菁(480)

压缩感知在 Micro-CT 图像超分辨重建中的应用 王丽艳, 韦志辉, 罗守华, 顾宁(487)

对偶四元数单片空间后方交会算法 姬亭, 盛庆红, 王惠南, 刘微微(494)

利用运动强度判据的高效自适应运动估计算法 郭晓珉, 姚睿, 刘智跃, 王友仁(504)

图像分析和识别

核空间散度阈值法 吴成茂(512)

近邻自适应局部尺度的谱聚类算法 孔万增, 孙昌思核, 张建海, 胡三清, 杨灿(523)

LUV 色彩空间中多层次化结构 Nyström 方法的自适应谱聚类算法 刘雅蓉, 汪西莉(530)

结合图像增强的心血管内超声中-外膜边缘检测 邱璇, 黄靖, 杨丰, 邢栋, 涂圣贤(537)

融合图像特征的一致点匹配方法及其应用 张久楼, 李春丽, 冯前进, 陈武凡, 阳维(546)

图像理解和计算机视觉

多蚁群动态协作优化的道路图像分割算法 林丽莉, 周文晖(553)

篮球比赛视频中持球队员行为预测	王千,夏利民,谭论正(560)
利用 Principal Warps 评估颅面几何相似度	朱新懿,耿国华,温超(568)

计算机图形学

图形处理器空间插值并行算法的实现	赵艳伟,程振林,董慧,方金云(575)
------------------------	---------------------

虚拟现实与增强现实

面向 GPU 的批 LOD 地形实时绘制	张兵强,张立民,张建廷(582)
----------------------------	------------------

遥感图像处理

光学遥感舰船目标识别方法	杜春,孙即祥,李智勇,滕书华(589)
自适应超完备字典学习的 SAR 图像降噪	杨萌,张弓(596)

第 18 届中国遥感大会征文通知	封 2
第 33 届亚洲遥感会议征文通知	封 2

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 4 期

2012 年 4 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
 中国图象图形学学会
 北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
 北京 9718 信箱 邮编 100101
 电子信箱:jig@irsa. ac. cn
 电话:010-68407995 010-82614429
 网 址:www. cijg. cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
 (中国国际书店)
 (北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
 CAS China Society of Image and Graphics
 Institute of Applied Physics and Computational
 Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
 of Journal of Image and Graphics
 (P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
 E-mail: jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
 and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
 (P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

第 18 届中国遥感大会征文通知

“第 18 届中国遥感大会”将于 2012 年 10 月 19 日-23 日在武汉召开。本届会议由中国遥感委员会主办,中国测绘学会摄影测量与遥感专业委员会和武汉大学承办。会议将围绕“遥感—全方位的社会服务”这一宗旨,以遥感学界院士与知名专家的特邀报告,分会场专题技术交流与技术讲座,重点项目研讨汇报、技术展览,新技术与新产品发布,专业委员会理事会等多种形式开展,同时举行“第 7 届中国青年遥感辩论会”和“第 2 届全国高分辨率遥感数据处理与应用研讨会”。

会议将全方位地展示遥感(RS)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)等方面的最新成果,为专家、学者和政府主管部门搭建联系纽带,为研发和用户提供技术交流平台,共同促进遥感科技的发展、遥感产业化的推进和大遥感体系的建立。

本届会议围绕大会主题将就遥感新理论、技术、方法和应用进行征文,范围包含但不限于以下方面:

- 1) 国家遥感中长期发展战略、国际遥感前沿与进展;
- 2) 航天、航空、低空、地面遥感技术及系统;
- 3) 光学、红外、高光谱及激光遥感技术;
- 4) 主、被动微波及雷达遥感技术;

- 5) 数字摄影测量与制图;
- 6) 高分辨率遥感数据处理与应用;
- 7) 地理空间数据处理技术与方法;
- 8) 地理国情监测(土地、农业、林业、矿产、环境、地质及水资源等);
- 9) 海洋、气象与全球变化;
- 10) 遥感、地理信息系统与导航定位系统(3S)集成与应用;
- 11) 智慧城市与数字地球;
- 12) 深空探测与行星测绘;
- 13) 教育、培训与社会公益事业。

征文采用在线方式投稿;

投稿要求:论文内容不涉密,且未在国内外学术刊物或正式学术会议上发表过;被录用的全文将收入大会论文集(送 ISTP 检索),并精选 70~90 篇口头报告论文编辑出版英文 SPIE 会议文集;大会将评选青年优秀论文(参加口头报告),论文将直接进入英文 SPIE 会议文集。

论文摘要截止日期为 2012 年 5 月 15 日,全文截稿日期为 2012 年 6 月 15 日。

会议相关信息,请查阅会议网址:<http://rsgis.whu.edu.cn/18ccrs/index.html>

“第 18 届中国遥感大会”组委会

第 33 届亚洲遥感会议征文通知

“第 33 届亚洲遥感会议”将由泰国地理信息和空间技术发展局(GISTDA)、科技部(MOST)和亚洲遥感协会(AARS)联合主办,于 2012 年 11 月 26-30 日,在泰国芭堤雅市宗滴恩酒店举行。这是亚洲遥感协会每年一届的系列学术会议。本届大会征文包括传感器与平台、算法和图像处理、GIS 与 Web GIS、全球导航卫星系统、灾害、自然资源、环境科学、教育和宣传、健康科学、制图、其他等方面。

会议重要日期:

- 论文摘要提交截止:2012 年 5 月 15 日;
 - 论文接收通知:2012 年 7 月 1 日;
 - 论文全文提交截止:2012 年 9 月 30 日;
 - 网上注册截止:2012 年 10 月 26 日;
 - 会议召开日期:2012 年 11 月 26-30 日。
- 会议还将组织学生专场和技术展览,其他信息请访问会议网站:<http://acrs2012.gistda.or.th>

与往年一样,中国遥感委员会仍将鼓励中国遥感科研人员和企事业单位参加会议,并组团参加学术交流和会议展览。

中国遥感委员会

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 4 April 2012

Contents

Review

The survey of fuzzy clustering method for image segmentation Li Xuchao, Liu Haikuan, Wang Fei, Bai Chunyan (447)

Image Processing and Coding

GPU assisted Hilbert transform profilometry Zhou Bo, Zhao Xiaomin, Wang Dongping (459)

Fast image inpainting algorithm introducing continuous strength and confidence factor Li Kaiyu, Sun Yugang (465)

Adaptive efficient non-local image filtering Xu Guangyu, Tan Jieqing, Zhong Jinqin (471)

Improved super-resolution reconstruction algorithm for PMD range image
..... Zhang Xudong, Shen Yuliang, Hu Liangmei, Chen Jingjing (480)

Image superreconstruction for Micro-CT based on compressed sensing Wang Liyan, Wei Zhihui, Luo Shouhua, Gu Ning (487)

Dual quaternion of space resection with single-image Ji Ting, Sheng Qinghong, Wang Huinan, Liu Weiwei (494)

Efficient adaptive motion estimation algorithm based on motion intensity Guo Xiaomin, Yao Rui, Liu Zhiyue, Wang Youren (504)

Image Analysis and Recognition

Divergence thresholding method in kernel space Wu Chengmao (512)

Spectral clustering based on neighboring adaptive local scale
..... Kong Wanzeng, Sun Changsihe, Zhang Jianhai, Hu Sanqing, Yang Can (523)

Adaptive spectral clustering algorithm based on Nyström method with multi-level structure in LUV color space
..... Liu Yarong, Wang Xili (530)

Image enhancement based media-adventitia border detection in intravascular ultrasound images
..... Qiu Xuan, Huang Jing, Yang Feng, Xing Dong, Tu Shengxian (537)

Coherent point drift registration combined with image feature and its application
..... Zhang Jiulou, Li Chunli, Feng Qianjin, Chen Wufan, Yang Wei (546)

Image Understanding and Computer Vision

Dynamic multi-colony ant cooperative optimization schemes for road image segmentation
..... Lin Lili, Zhou Wenhui (553)

Behavior prediction of ball carriers in basketball match videos Wang Qian, Xia Limin, Tan Lunzheng (560)

Estimate of craniofacial geometry shape similarity based on principal warps
..... Zhu Xinyi, Geng Guohua, Wen Chao (568)

Computer Graphics

Realization of GPU parallel spatial interpolation method
..... Zhao Yanwei, Cheng Zhenlin, Dong Hui, Fang Jinyun (575)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU-based real-time terrain rendering algorithm using batched LOD
..... Zhang Bingqiang, Zhang Limin, Zhang Jianting (582)

Remote Sensing Image Processing

Method for ship recognition using optical remote sensing data
..... Du Chun, Sun Jixiang, Li Zhiyong, Teng Shuhua (589)

SAR images de-speckling algorithm via an adaptive over-complete learning dictionary
..... Yang Meng, Zhang Gong (596)

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)04-0459-06

论文引用格式: 周波, 赵小敏, 王东平. GPU 辅助的希尔伯特变换轮廓术 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(4): 459-464

GPU 辅助的希尔伯特变换轮廓术

周波, 赵小敏, 王东平

黑龙江科技学院计算机学院, 哈尔滨 150027

摘要: 在希尔伯特变换轮廓术中, 相位计算速度的快慢直接影响光学 3 维测量速度。由于相位计算是在每幅图像的每个像素上分别进行的, 每个待处理的像素和已计算的像素之间不存在依赖性, 因此具有极高的计算密度, 可以通过多线程运行相同的程序进行并行计算。统一架构的图形处理器 (GPU) 具有强大的数值并行计算能力, 可以在 GPU 上实现并行计算。在分析相位计算的特点后, 在 GPU 上进行相位的并行计算, 实现了 CPU 与 GPU 的协同工作, 解决了在 CPU 上相位计算方法速度较慢的问题。实验结果表明, 经 GPU 加速后, 在相位计算的质量相同的情况下, 计算速度有了较大的提高。

关键词: 统一计算设备架构; 图形处理器; 希尔伯特变换轮廓术; 相位计算

GPU assisted Hilbert transform profilometry

Zhou Bo, Zhao Xiaomin, Wang Dongping

College of Computer Heilongjiang University of Science and Technology, Harbin 150027, China

Abstract: The speed of the phase computation affects the optical three dimensional measurement speed in the Hilbert transform profilometry. Because the pixels which still need to be processed and the already processed pixels are not interdependent, the phase of each pixel can be calculated separately. Therefore, the same program can be executed on multiple threads in parallel with high arithmetic intensity. This allows the phase computation done on the GPU with the help of the powerful unified architecture graphics processor parallel computational capability. This paper analyzes the characteristics of the phase computation, and then implements the code for allowing the CPU with GPU working together to solve the problem of the low efficiency of the phase computation on CPU. Experiments show that by the GPU acceleration the computation speed has been greatly improved with the same quality of the phase computation.

Keywords: CUDA; GPU; Hilbert transform profilometry; phase computation

0 引言

光学 3 维测量中通常利用光干涉法或者投影条纹法测量物体, 从变形的条纹图中提取代表物理量的相位信息^[1]。传统的 3 维测量处理速度较慢, 影响了设备的使用效率。为实现快速测量, 往往采用高性能的专用计算机或图像加速卡, 系统的成本昂贵, 不利于广泛使用。如何最大限度的减少相位计

算所耗费的时间是提高 3 维测量处理速度的关键。由于在进行相位计算时其待处理的数据和计算结果都是相对独立的像素, 且具有极高的计算密度, 很适于并行计算, 所以并行化^[2]为提高 3 维测量的速度提供了机遇。

近几年, 随着 GPU (图形处理单元) 的高速发展, 其具有相当高的内存带宽和大量的执行单元, 被作为协处理器广泛应用到了海量数据计算的各个领域。NVIDIA 推出的 CUDA (统一计算设备架构) 是

收稿日期: 2011-05-19; 修回日期: 2011-09-22

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (12511474)

第一作者简介: 周波 (1963—), 男, 教授, 主要研究方向为 3 维测量和计算机视觉。E-mail: zhouboupc@163.com

一种将 GPU 作为数据并行计算设备的软硬件体系,它克服了传统的 GPGPU(通用 GPU)^[3]受硬件可编程性和开发方式的制约等缺点,可以更为方便高效的编写程序。与传统的 GPU 相比,支持 CUDA 的 GPU 在架构上有显著的改进^[4],这两项改进使 CUDA 架构更加适用于 GPU 通用计算。一是采用了统一处理架构,可以更加有效的利用过去分布在顶点渲染器和像素渲染器^[5]的计算资源;二是引入了片内共享存储器,支持随机写入和线程间通信^[6]。CUDA 使在 GPU 上并行计算相位成为可能。

应用希尔伯特变换(HT)^[7-8]提取出条纹图的相位,利用 GPU 的强大并行计算能力将计算过程中大量计算并且可以在像素之间并行的计算工作在 GPU 上计算完成,实现 GPU 与 CPU 协同工作,从而提高了 3 维测量的处理速度。在保证图像质量的情况下提高处理的效率,为在线实时 3 维测量奠定了基础。

1 GPU 的通用计算模型 CUDA

1.1 CUDA 编程模型

在 CUDA 编程模型^[9]中,CPU 作为主机负责串行部分的计算;GPU 作为设备执行高度线程化的并行处理任务,运行在 GPU 上的函数称为 Kernel。Kernel 以 Grid 的形式组织,每个 Grid 由若干个 Block 组成,而每个 Block 又有若干个 Thread 组成。CUDA 的编程模型如图 1 所示,Kernel 函数中存在两个层次的并行,即 Grid 中的 Block 间的并行和 Block 中的 Thread 间的并行。

1.2 CUDA 硬件架构

CUDA 的硬件模型^[10,11]以 NVIDIA Quadro FX 1700 为例,如图 2 所示,该 GPU 由 16 个 SM(流多处理器)组成,每个 SM 包含 8 个 SP(流处理器)和其他计算单元。Thread 以 Block 为单位分配到 SM,SM 是以 Warp 为单位执行,同一线程块中连续的 32 个线程组成一个 Warp。CUDA 采用硬件管理 Warp 的运行,可以实现零开销的 Warp 切换。Thread 在执行时将会访问到处于多个不同存储空间中的数据,如图 3 所示,每个 Thread 拥有私有的寄存器和局部存储器,同一 Block 中的线程可访问同一共享内存,Grid 中的所有线程都可访问全局存储器、常数存储器、纹理存储器。

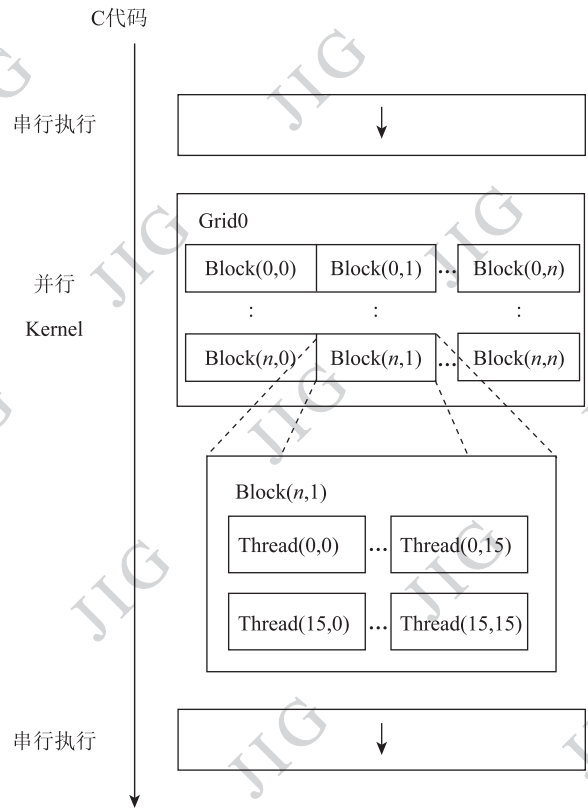


图 1 CUDA 的编程模型

Fig.1 The programming model with CUDA

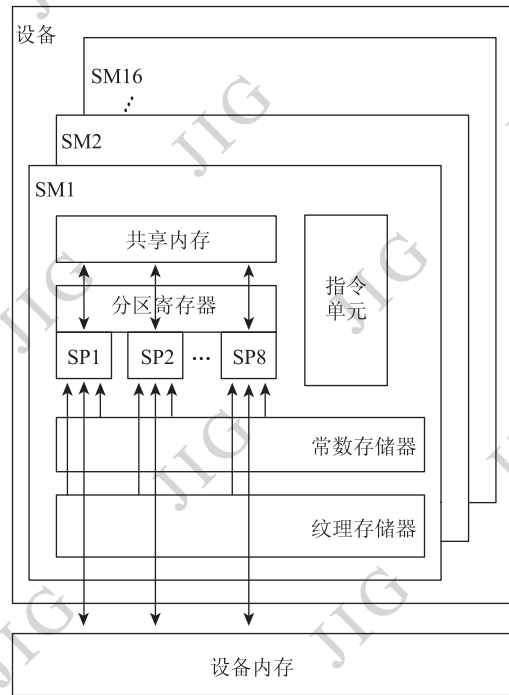


图 2 CUDA 硬件模型

Fig.2 The hardware model with CUDA

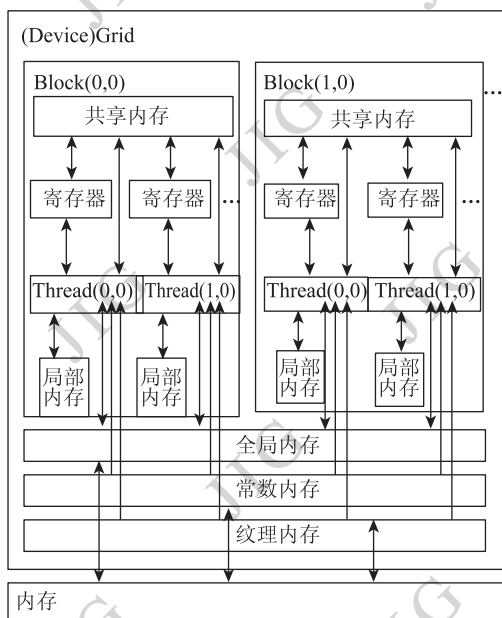


图3 CUDA存储器模型

Fig.3 The memory model with CUDA

2 希尔伯特变换轮廓术

希尔伯特变换轮廓术^[12-13]的基本原理是对条纹图进行傅里叶变换,频谱相位的修正,逆傅里叶变换等步骤提取相位信息,最后由相位信息转换为高度。

2.1 希尔伯特变换

对于一个实函数 $x(t)$, $-\infty < t < +\infty$, 其希尔伯特变换定义为

$$\tilde{x}(t) = H(x(t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(u)}{\pi(x-u)} du \quad (1)$$

记为卷积的形式为

$$\tilde{x}(t) = x(t) * \frac{1}{\pi t} \quad (2)$$

式中, $\tilde{x}(t)$ 可看作 $x(t)$ 通过滤波器的输出, 该滤波器的单位冲击响应为

$$h(t) = \frac{1}{\pi t} \quad (3)$$

$h(t)$ 的傅里叶变换为

$$H(j\Omega) = -j \operatorname{sgn}(\Omega) = \begin{cases} -j & \Omega > 0 \\ j & \Omega < 0 \end{cases} \quad (4)$$

若记信号 $x(t)$ 的傅里叶变换为 $X(j\Omega)$, 由式(2)(4)可得 $\tilde{x}(t)$ 的傅里叶变换为

$$\begin{aligned} \tilde{X}(j\Omega) &= H(j\Omega) * X(j\Omega) = \\ &= -j \operatorname{sgn}(\Omega) * X(j\Omega) \end{aligned} \quad (5)$$

所以, 只要将 $X(j\Omega)$ 的负频率乘以 j , 而正频率乘以 $-j$, 即可得到频域内的希尔伯特变换。信号 $x(t)$ 通过希尔伯特变换后, 结果是将信号移相 $-j$, 即负频率移相 $+\frac{\pi}{2}$, 正频率移相 $-\frac{\pi}{2}$ 。

2.2 获取物体表面相位分布

希尔伯特变换轮廓术测量系统^[14-15]的几何关系如图4所示, d_p 和 d_c 分别是投影系统和成像系统的光轴, 两光轴与参考平面 xOy 相交。当光栅模板被投影到3维物体表面时, 光栅像发生变形, 得到干涉条纹图的光强表达式表示为

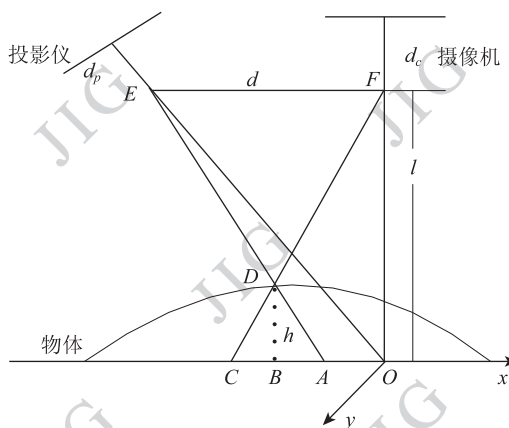


图4 希尔伯特变换轮廓术

Fig.4 Hilbert transform profilometry

$$I_0(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos[\phi(x, y)] \quad (6)$$

式中, $a(x, y)$ 是背景光强, $b(x, y)$ 是振幅。在去除背景光强之后, 得到变形栅线分布

$$I(x, y) = b(x, y) \cos[\phi(x, y)] \quad (7)$$

将式(7)经过希尔伯特变换为

$$\tilde{I}(x, y) = b(x, y) \sin[\phi(x, y)] \quad (8)$$

由式(7)(8)可得到变形光栅的相位信息:

$$\phi(x, y) = \arctan \frac{\tilde{I}(x, y)}{I(x, y)} \quad (9)$$

相位函数 $\phi(x, y)$ 表征由于3维面形引起的条纹变形, 所以包含被测物体高度信息 h 。

由于在求解相位的过程中运用了反正切函数, 相位被截断在 $(-\pi, \pi)$ 内, 所以要将截断的相位恢复成连续相位。对于理想的相位图, 可先在行展开的方向上比较截断相位图中相邻两个点的相位值, 如果差值小于 $-\pi$, 则后一点的相位值 $+2\pi$; 若差值大于 π , 则后一点的相位值 -2π 。然后以行展开后的相位为基准, 再按每一列展开。假定在行展开时

截断相位为 $\phi(j) (j > 0)$, 展开后的相位为 $\phi'(j)$, 则相位展开的过程为

$$\begin{aligned} \phi'(j) &= \phi(j) + 2\pi n_j \\ n_j &= \text{int} \left[\frac{\phi(j) - \phi(j-1)}{2\pi + 0.5} \right] \\ n_0 &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

在相位展开时存在大量的分支语句, GPU 芯片上只有少量的晶体管用来进行数据缓存和指令流的控制, 分支指令的执行效率低下, 此部分不适合使用 CUDA 实现。

2.3 相位—高度的转换

由图 4 所示的系统的几何关系, 可以计算出 3 维物体的相位分布, 根据系统结构参数建立参考平面坐标 (x, y) 与相位分布 $\phi(x, y)$ 之间的关系, 并将这一映射关系以表的形式存在计算机中。在 3 维物体测量时, 可测量点 D 的相位 $\phi_d(x, y)$, 它对应于参考平面 A 的相位 $\phi_a(x, y)$ 。同时, C 点的相位 $\phi_c(x, y)$ 已存储在计算机中, 即 \overline{OC} 已知, \overline{OA} 可通过线性插值求出, 则 $\overline{AC} = \overline{OC} - \overline{OA}$ 。由 $\triangle EFD$ 与 $\triangle ACD$ 相似, 可得

$$h(x, y) = \frac{l \overline{AC}}{d + \overline{AC}} \quad (11)$$

假设光栅的基准相位为 $\phi_0(x, y)$, 由物体高度引起的相位调制 $\Delta\phi(x, y)$ 为

$$\Delta\phi(x, y) = \phi(x, y) - \phi_0(x, y) = 2\pi f_0 \overline{CA} \quad (12)$$

式中, f_0 为光栅的基准频率, l 和 d 为结构参量。由式(11)(12)可得

$$h(x, y) = \frac{l \Delta\phi(x, y)}{\Delta\phi(x, y) - 2\pi f_0 d} \quad (13)$$

利用相位与高度之间的映射关系可计算出物体的 3 维面形。

3 GPU 辅助的并行计算相位

对条纹图像提取相位时需要处理全部的像素, 数据量大且计算规整。对于图像的每个像素是运用相同的指令来完成相位的计算, 可以通过运行不同的线程来运行相同的程序来实现, 多个线程并行执行, 所以 CUDA 的加速主要针对采用希尔伯特变换提取相位部分。

在 GPU 上实现时, 由于 CUDA 中提供了专门的 CUFFT 库函数完成傅里叶变换和逆傅里叶变换, 所以只需要先创建一个 CUFFT 句柄, 然后直接调用接口函数, 最后再将所占用的 GPU 资源释放即可。本文将采用两个 Kernel 分别实现频谱相位的修正和获取折叠相位。在 Kernel 执行前, 需要对线程块和线程这两个矢量进行配置, Kernel 1 和 Kernel 2 配置方案相同, 具体的数据分解和配置方案如图 5 所示。由图 5 可知, 在 Kernel 1 和 Kernel 2 中每个线程块分别对一行中连续的 256 个像素进行频谱相位的修正并计算出折叠相位, 一个线程对应一个像素, 线程通过映射规则获取要处理的像素; 在 Kernel 2 中使用 $M \times N$ 个线程根据式(9)计算出截断在 $(-\pi, \pi)$ 内的折叠相位, 式(9)所述的求相位的计算不存在数据依赖性, 且不需要线程间的通信。CUDA 并行处理过程如图 6 所示。

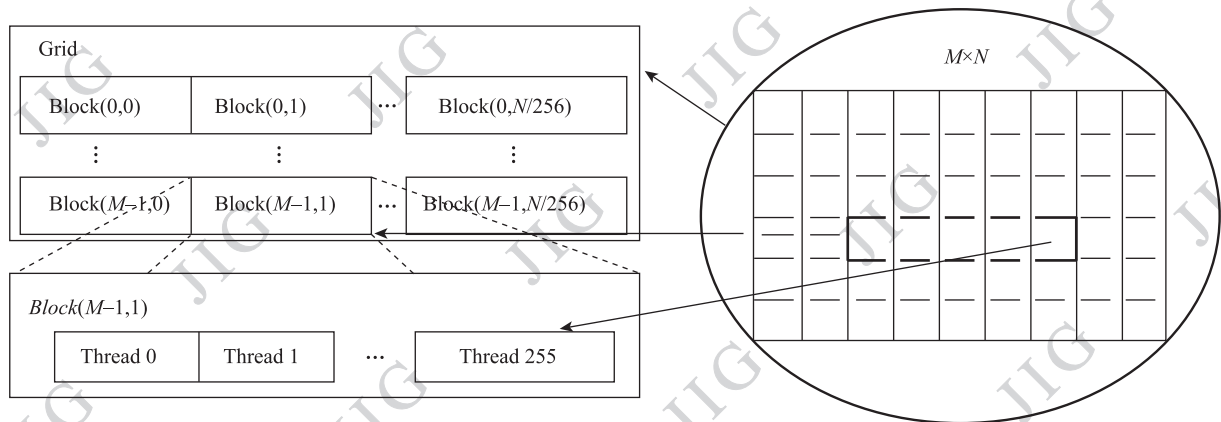


图 5 Kernel 1 和 Kernel 2 的线程块和线程的配置及数据的分解

Fig. 5 The Kernel 1 and Kernel 2 configuration of blocks and threads and resolution of data

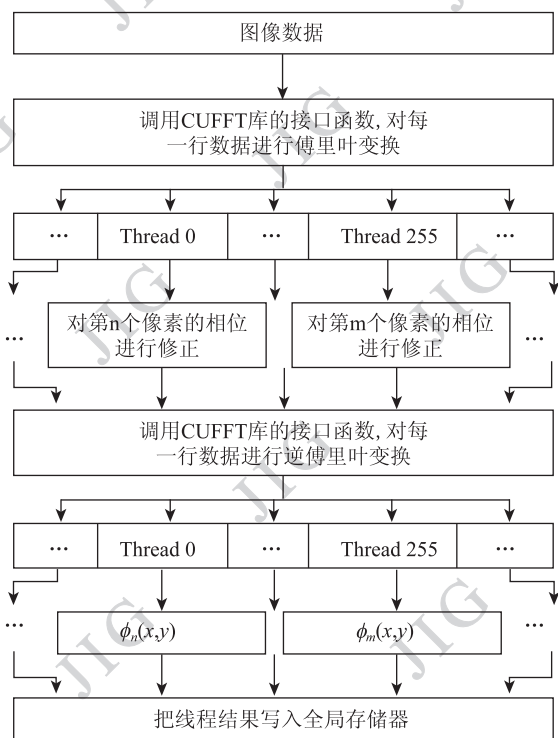


图6 CUDA 运行过程

Fig.6 Running procedure with CUDA

分别在 CPU 上使用 FFTW 库和在 GPU 上使用 CUFFT 库实现希尔伯特变换,为验证本文算法的有效性,选用了多组不同大小的计算机模拟干涉条纹图进行验证,并将在 GPU 与在 CPU 上的处理时间进行比较,CPU 和 GPU 的处理效率对比见表 2。从表 2 可以看出,随着图像尺寸的增大,GPU 的计算时间变化很小,而 CPU 消耗的时间明显增加。这是因为对于小尺寸的图像而言,一方面由于 CPU 计算循环次数较少,而且其主频高于 GPU 和单线程计算能力突出,另一方面由于 GPU 的加速处理时间包括数据在 CPU 和 GPU 之间传输的时间,所以 CUDA 并行执行的优势并没有明显体现。当图像像素数目增多时,计算量随之增大,计算时间占总处理时间的比例越大,GPU 强大的并行执行能力越明显。为了对 3 重建的效果进行对比,选取 256×256 的计算机模拟条纹图如图 7(a) 所示,分别在 GPU 和 CPU 上进行处理,处理后显示的效果相同,如图 7(b)(c) 所示。由此可见,在保证图像处理效果的前提下,GPU 的处理速度实现了超过 CPU 1~2 数量级的加速。

4 实验验证及结果分析

实验的硬件配置如表 1 所示,软件运行环境为 Microsoft visual studio 2005。

表 1 实验的硬件配置

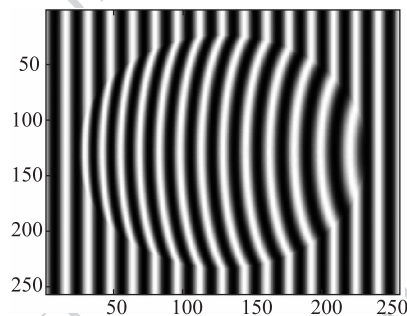
Table 1 Experiment configurations of hardware

名称	类型
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU E5420 2.5 GHz
GPU	NVIDIA Quadro FX1700(512 MB)
内存	3.0 GB 2.5 GHz

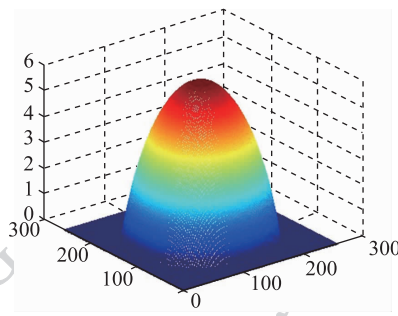
表 2 CPU 与 GPU 运行时间比较

Table 2 The results of comparison with GPU and CPU

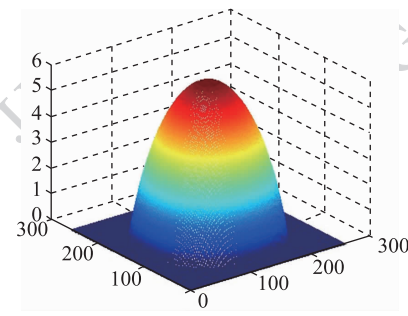
图像尺寸	GPU/ms	CPU/ms	加速度
256×256	16	63	3.94
1024×1280	47	765	16.27
1280×1280	47	859	18.27
2048×1280	78	1547	19.83
3200×1296	86	1906	22.16
2560×2560	109	3578	32.83
5180×2792	141	13156	93.30



(a) 计算机模拟的条纹图(256x256)



(b) GPU上处理后显示结果



(c) CPU上处理后显示结果

图7 模拟条纹图在 CPU 与 GPU 上处理结果对比

Fig.7 The results comparison with CPU and GPU of the simulation fringe image

5 结 论

将传统的基于 CPU 的利用希尔伯特变换计算相位的算法移植到具有并行计算能力的 GPU 中,利用 CUDA 技术并发执行的优点,提高了计算速度,达到了很好的效果。从上面的算法实现可以看出,采用基于 CUDA 的并行计算,线程处理数据的分配和数据在主存和显存之间的传输速度是影响整体速度的关键因素。今后,要从这两个方面采取一些优化策略来更大的提高处理速度。

参考文献 (References)

- [1] Zhao H D. Studies and Applications of Phase Measurement Profilometry [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2001. [赵焕东. 相位测量轮廓术的理论研究及应用 [D]. 浙江:浙江大学, 2001.]
- [2] Qin FT, Fang B. CUDA parallel technology for image geometric transform [J]. Computer System Application, 2009, 19 (10): 169-172. [覃方涛, 方斌. CUDA 并行技术与数字图像几何变换 [J]. 计算机系统应用, 2009, 19 (10): 169-172.]
- [3] NVIDIA. CUDA Programming Guide Version 2. 0 [EB/OL]. (2008-7-6) [2011-4-20]. <http://www.docin.com/p-34710013.html>.
- [4] Zhang S, Chu Y L. GPU High Performance Computing of CUDA [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009: 3-20. [张舒, 褚艳丽. GPU 高性能运算之 CUDA [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 3-20.]
- [5] Zhang S, Dale R, Yau S T. GPU-assisted high resolution, real-time 3-D Shape measurement [J]. Optical Society of America, 2006, 14 (20): 9120-9129.
- [6] Bi W Y, Chen Z Q. Real-time visualize the 3D reconstruction procedure using CUDA [J]. CT Theory and Applications, 2010, 19 (2): 1-8.
- [7] Zhou Z J, Wang H. Measuring method for phase difference based on Hilbert transform [J]. Testing and Measuring Technology, 2009, 9 (19): 18-22. [周增建, 王海. 一种基于希尔伯特变换的相位差测量方法 [J]. 测试测量技术, 2009, 9 (19): 18-22.]
- [8] Xiong L D, Jia S H. A novel Hilbert transform algorithm for phase evaluation from fringe pattern [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 39 (9): 1678-1681. [熊六东, 贾书海. 基于希尔伯特变换的干涉条纹相位解调新算法 [J]. 光子学报, 2009, 39 (9): 1678-1681.]
- [9] Yan R. The stereo matching and deinterlacing algorithm based on CUDA [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2010. [颜瑞. 基于 CUDA 的立体匹配及去隔行算法 [D]. 浙江: 浙江大学, 2010.]
- [10] Xu Y Y. Research on stereo matching algorithm based on GPU [D]. Shandong: Shandong University, 2010. [许岩岩. 基于 GPU 的立体匹配算法研究 [D]. 山东: 山东大学, 2010.]
- [11] Du X, Yan R. Video deinterlacing of surveillance cameras and CUDA acceleration [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2010, 23 (3): 393-398. [杜歆, 颜瑞. 监控摄像机视频去隔行和 CUDA 加速 [J]. 传感技术学报, 2010, 23 (3): 393-398.]
- [12] Lv J, Wang M, Huan H. Fringe analysis with Hilbert transform and its application in the measurement of aspheric mirror [J]. Acta Optica Sinica, 2005, 6 (25): 781-785. [吕捷, 王鸣, 宦海. 希尔伯特变换条纹分析法及其在非球面镜测量上的应用 [J]. 光学学报, 2005, 6 (25): 781-785.]
- [13] Xiao J, Liu B. Signal processing of microwave interferometer based on Hilbert Transform [J]. Journal of Detection and Control, 2010, 32 (1): 80-83. [肖剑, 柳斌. 基于希尔伯特变换的干涉仪信号处理 [J]. 探测与控制学报, 2010, 32 (1): 80-83.]
- [14] Zheng X, Cao Y P. A fast on-line 3D measuring algorithm based on two value modulation delamination [J]. Acta Photonica Sinica, 2010, 39 (8): 1443-1448. [郑旭, 曹益平. 基于二值化调制度层析的快速在线 3 维测量算法 [J]. 光子学报, 2010, 39 (8): 1443-1448.]
- [15] Zhang S. Recent progresses on Real-time 3D shape measurement using digital fringe projection techniques [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2010, 48 (2): 149-158.