[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G02B 26/06 (2006.01)

[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810187622.4

[43] 公开日 2009 年 5 月 27 日

[11] 公开号 CN 101441322A

[22] 申请日 2008.12.29

[21] 申请号 200810187622.4

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 16 号

[72] 发明人 王 斌 赵金宇 杨轻云 王鸣浩 贾建禄 吴元昊

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所

代理人 赵炳仁

权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

[54] 发明名称

基于 GPU 计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法

[57] 摘要

本发明涉及一种基于 GPU 计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法，包括以下步骤：变形镜对光波整形；哈特曼探测器接收整形后的光波并得到哈特曼图像；哈特曼图像经计算机内存传入显卡的显存内；GPU 把显存内的该哈特曼图像进行分割，并计算出各个分割中的灰度重心；根据哈特曼图像和它上面的各个分割中的灰度重心计算出波前倾斜向量；根据波前倾斜向量算出 zernike 多项式系数；根据 zernike 多项式系数计算出变形镜促动器的控制向量；用变形镜促动器的控制向量控制变形镜。 本发明在原系统的基础上，把所有运算全部放置到 GPU 中进行，既达到了用 CPU 控制难以达到的控制频率，又可以便于试验调试、升级、维护、二次开发。

1. 一种基于 GPU 计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法，其特征在于包括以下步骤：

a. 变形镜对光波整形；

b. 哈特曼探测器接收整形后的光波并得到哈特曼图像；

c. 哈特曼图像经计算机内存传入显卡的显存内；

d. GPU 把显存内的该哈特曼图像进行分割，并计算出各个分割中的灰度重心；

e. 根据哈特曼图像和它上面的各个分割中的灰度重心计算出波前倾斜向量；

f. 根据波前倾斜向量算出 zernike 多项式系数；

g. 根据 zernike 多项式系数计算出变形镜促动器的控制向量；

h. 用变形镜促动器的控制向量控制变形镜。

基于GPU计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法

技术领域

本发明涉及对可见光相机进行调光控制的方法，特别是一种应用于自适应光学变形镜的闭环控制方法。

背景技术

自适应光学的变形镜的闭环控制由于控制频率需要达到1000HZ，目前用常规计算的CPU来运算很难达到要求，而如果用可编程逻辑芯片（FPGA）自做板卡，那么一块板卡上固化的算法很难再进行扩展，而且开发周期长，成本高，在算法调试过程中，要经常对算法进行修改，于是用FPGA自做板卡将变成非常的昂贵与低效。

发明内容：

本发明的目的是为解决目前在自适应光学的变形镜的闭环控制方法存在的上述技术问题，提出一种基于GPU计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法，既可以克服过去方法的高费用、低效率，又可以便于试验调试、升级、维护、二次开发。

本发明的技术方案是根据存储模块提供的图像信息，在主控模块中对可见光相机进行调光控制，包括以下步骤：

a. 变形镜对光波整形；

b. 哈特曼探测器接收整形后的光波并得到哈特曼图像；

c. 哈特曼图像经计算机内存传入显卡的显存内；

d. GPU把显存内的该哈特曼图像进行分割，并计算出各个分割中的灰度重心；

e. 根据哈特曼图像和它上面的各个分割中的灰度重心计算出波前倾斜向量；

f. 根据波前倾斜向量算出 zernike 多项式系数；

g. 根据 zernike 多项式系数计算出变形镜促动器的控制向量；

h. 用变形镜促动器的控制向量控制变形镜。

在原系统的基础上，把所有运算全部放置到 GPU（图形处理单元）中进行，既达到了用 CPU 控制难以达到的控制频率，又可以便于试验调试、升级、维护、二次开发。

本发明基于 GPU 计算的自适应光学变形镜闭环控制的方法，具有既可以克服过去方法的高费用、低效率，又可以便于试验调试、升级、维护、二次开发的优点。

附图说明

图 1 为本发明自适应光学变形镜的闭环控制方法系统组成示意图；

图 2 为本发明方法控制程序流程示意图；

图 3 为本发明方法计算过程的数据流示意图。

具体实施方式

结合以下实施例对本发明作进一步详细说明。

如图 1 所示，本发明方法自适应光学变形镜的闭环控制系统由变形镜，哈特曼探测器，基于 GPU 的计算模块组成。在 Microsoft Visual Studio 2005 编程环境下，利用 CUDA 语言进行编程，运行环境为 PIII500 以上，内存大于 256MB，硬盘大于 40GB 并装有英伟达（NVIDIA）公司生产的具有 G92 或更高版本核心的显卡的计算机。

本发明基于 GPU 计算的自适应光学变形镜的闭环控制方法，按以下步骤实现：

在初始化过程中，根据之前测得的单位 Zernike 多项式的波前斜率矩阵

B 通过下式算出 $M=\left[\mathbf{B}^{T}\mathbf{B}\right]^{-1}\mathbf{B}^{T}$，并把系数矩阵 M 和变形镜控制电压的对应矩阵 C 存入显存。

在高频控制过程的每个控制周期中，按以下步骤实现对自适应光学变形镜的闭环控制：

a. 变形镜对光波整形，变形镜为 12×12 的阵列；

b. 哈特曼探测器接收整形后的光波并得到哈特曼图像；

c. 哈特曼图像经计算机内存传入显卡的显存内；

d. GPU 把显存内的该哈特曼图像进行分割，哈特曼图被分割成 12×12 个小格子；

e. 求出各个区域的图像质心的偏移量，来构造波前倾斜向量 y，在 GPU 中运算的过程为了提高运算速度，需要把一个大问题分成一个个相对独立的小块，然后利用 GPU 的并行运算的特点来进行同时处理，对哈特曼图像分割成的这 12×12 的小格子的质心运算正是可以利用 GPU 的这个特点快速运算，把每个小格子的质心运算分配到单独一个流处理器上进行；

f. 计算 $a=M\cdot y$，得到 35 个 zernike 多项式系数 a，其中 M 是前面初始化过程中得到的系数矩阵；

g. 计算 $v=C\cdot a$，得到变形镜促动器的控制向量 v，其中，a 是步骤 f 得到的 35 个 zernike 多项式系数，C 是初始化过程中存入显存的变形镜控制电压的对应矩阵，注意对于步骤 f 和 g，因为高频控制对运算时间的苛刻，用普通的 CPU 运算根本就达到不了 1000HZ 的控制频率，所以，我们用显卡的硬件来直接实现矩阵的运算；

h. 把计算得到的 v 传入计算机内存，再从内存传到变形镜的促动器控制器上去，实现对变形镜的控制。

在基于 GPU 的计算模块中，数据流在设备之间的传递如图 2 所示，在一个控制周期内，首先，由数据流 1 把一幅哈特曼图从图 1 中模块 2 传进计算

机的内存，然后通过数据流 2，到达计算机显卡的显存中，这是因为 GPU 对显存的访问速度远远大于对内存的访问速度，数据流 3 便是 GPU 对显存中的数据访问，再把经过 GPU 处理好的数据通过数据流 4 存放在显存上，最后当当前控制周期内全部控制用数据计算完毕后，再把计算结果（控制数据）通过数据流 5 移交给计算机内存,然后再通过数据流 6，把控制数据传到变形镜的促动器上去。

计算过程如图 3 所示，在一个控制周期内，首先，程序先是把通过与显存的数据通信接口把一幅哈特曼图读到计算程序内，这个过程对应图 2 的数据流 3，并根据该哈特曼图计算出波前倾斜向量 y；接着用公式 $\mathbf{a}=\left[\mathbf{B}^{\mathrm{T}}\mathbf{B}\right]^{-1}\mathbf{B}^{\mathrm{T}}\mathbf{y}$ 算出 zernike 多项式系数 a，其中 B 是单位 Zernike 多项式的波前斜率矩阵；然后在根据公式 $\mathbf{v}=\mathbf{C}\cdot\mathbf{a}$ 得到变形镜促动器的控制向量 v，其中 C 是 Zernike 系数与控制电压的对应矩阵；最后再把计算得到的 v 通过与显存通信的接口传入显存，这个过程对应图 2 的数据流 4。

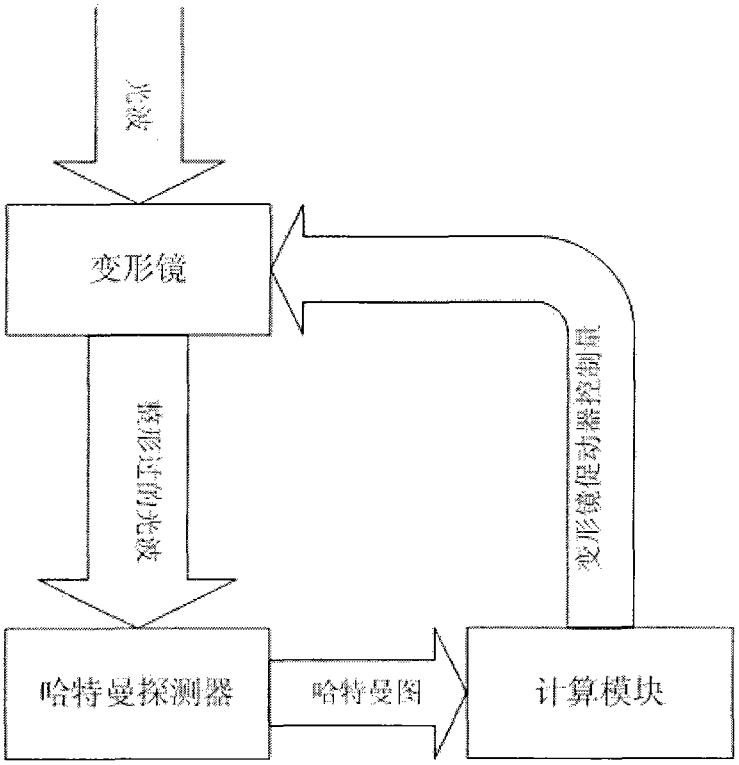
光线
变形镜
变形镜的波前
变形镜促动器控制量
哈特曼探测器
哈特曼图
计算模块

图 1

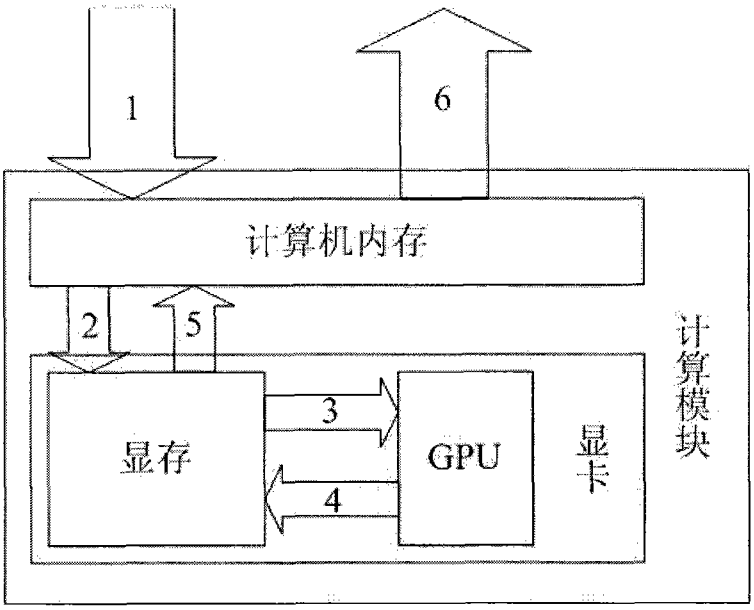
1
6
计算机内存
2
5
3
4
显存
GPU
显卡
计算模块

图 2

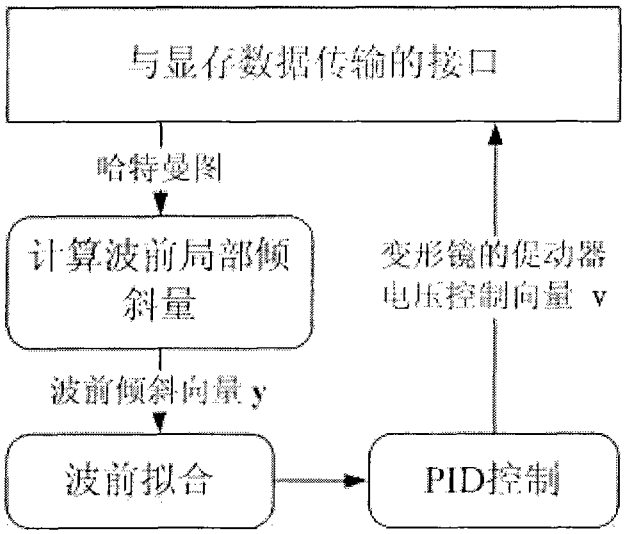
与显存数据传输的接口
哈特曼图
计算波前局部倾斜量
变形镜的促动器电压控制向量 v
波前倾斜向量 y
波前拟合
PID控制

图 3