

中文题目：采用高速摄像和基于 GPU 的实时数字图像处理技术求解高速切屑流自由面

英文题目：Solving Free Surface of Cutting Chipping Stream with High Speed Camera and GPU-Based Digital Picture Processing Technology

课题综述

[0542127周波](#)

前言

针对木材及木质复合材料高速切削过程中产生的高速切屑流流速大、自由面形状难以测定的情况，使用高速摄像机采集了木材及木质复合材料高速切削过程中切屑流的高清晰数字图像。根据数字图像处理的基本原理及方法，利用 GPU 加速，采用 OTSU 最大类间差法确定了所采集图像的阈值后进行二值化，得到了紊动切屑流的二进制图像，对该二进制图像中切屑流的边界进行了搜索检测，同时也尝试在色彩空间内求解边界，最终得到切屑流边缘像素的位置坐标，确定了水流自由面的形状。进而研究，当木材及木质复合材料高速切削过程中切屑流的平均流速达到多少后其自由面极不规则，存在着明显的柱状、团状突起、甚至破碎。这些突起的运动变形，造成了自由面的形状在短时间内变化剧烈，有可能发生包裹、卷吸作用而促进水气交换。最后对误差可能的产生来源进行分析，指出了进一步的研究目标。

研究方法阐述

本质上来说，一张图片是一个多维函数，无论是使用真实的拍摄器材还是利用计算机生成的图片本质上都是可以用下列积分式阐述的，

$$L_{m,n} = \frac{1}{|A_P| \cdot T \cdot |A_L|} \int_{A_P} \int_{t_0}^{t_0+T} \int_{A_L} L(h(x,t,y), -\omega(x,t,y)) f_{m,n}(x,t,y) dy dt dx$$

上述积分式子的意义是 (m, n) 位置的像素是辐射在空间时间面积上的积分。对于使用高速 CCD 采集到的木材及木质复合材料高速切削过程中切屑流的高清晰数字图像来说，如何获取高速运动的木屑所形成的边界就成为了一个二维函数的分析问题。为了确立与跟踪边界，目前常用的算法包括 Canny 边缘检测法与基于 Level Set 的隐函数 (Implicit Function) 的方法。当获得了边界后，我们将位图矢量化，即采样边缘，利用数值分析的方法拟合出理想曲线，建立与切屑速度相关的数学模型。在数值分析领域中常用的函数差值法有线性差值，B 样条 (B-Spline) 差值，多项式差值等。事实上在处理的过程中还隐含着光线传输的问题，由于木屑高度的分散特性，木屑流接受真实世界的点光源照射后，背景板接受到的照明将体现为低频与卷积化，只有使用与木屑流色彩亮度对比明显的背景板才可能将其尽可能的完整分离出来，通过精心的设计照明环境，我们就可以得到良好的原始处理素材。

研究特色

为了加速对捕获的图形分析过程，我将引入了实时图形领域与计算视觉的前沿技术。

随着计算机图形硬件的发展，当前主流的图形处理单元 (Graphics Processing Unit 以下简称 GPU) 的浮点计算性能和并行计算的能力得到了长足的进步。当前的 NVIDIA GeForce GTX 200 的浮点计算性能高达到 1TFlops 以上，而 Intel Core i7 Extreme 965 的浮点计算性能

才刚刚达到 72Gflops。正因为如此，目前 GPU 已经广泛的应用于科学计算，工程模拟领域，比如由斯坦福大学领导的计算分子生物学的项目（Folding@Home）中就允许计算客户端利用 GPU 进行加速计算蛋白质的折叠结构。由于 GPU 是高度并行的图形设备，所以在图像处理领域的优势明显，从 NVIDIA Geforce 6 系列芯片开始，通用可编程图形处理单元（GPGPU）的概念得到深化，目前在计算机图形学领域利用 GPU 进行加速卷积（Convolution），边缘检测（Edge Detection），医学 CT 扫描体素数据可视化（Volumetric Visualization），交互式光线跟踪（Interactive Ray Tracing），大规模线性代数的计算（BLAS），甚至组建超级计算机的工程（France CEA Bull）中都有它的身影。

正因为如此，我将利用 GPU 进行关键性的处理，包括直方图的生成，色彩空间的相互转换，图像的二值化处理，明度色度处理，卷积与边缘检测等常用图像处理操作。由于 GPU 是高度并行化的计算系统，它完全以线程（Threading）为中心，高度共享的内存结构，以及快速的内存寻址（Translation Lookaside Buffer Cache）与数据预读取（Prefetch），使得一个周期内可以同时多次的纹理访问操作（Texture Access）与帧缓冲（Framebuffer）操作，计算并行度相对于 CPU 这种顺序执行的硬件来说并行度更高，并且由于内建光栅器（Raster），内置了包括点采样（Nearest Interpolation），线性差值（Linear Interpolation）采样，以及金字塔式层级过滤（MIPMAP）过滤器，可是实现基本的数据采样与差值操作。在 GPU 的可编程单元内，我们可以进行常用的数学操作，包括埃米特（Hermite）差值，指数对数变换，正反三角函数与矩阵变换等，甚至可以用迭代法求某一数值在屏幕方向上的偏微分，这些数学功能足够我们在图像处理的领域使用。

GPU 的最大缺点是没有提供指针，无法直接进行内存的操作，而且也没有堆栈，运行时无法动态分配内存，在一定程度上限制了它的应用，直接导致高级数据结构极难映射到 GPU 上进行加速。而 AMD 与 Intel 都在积极的探索 CPU-GPU 整合式的硬件结构，并且已经有了实验性的产品如 AMD Fusion 以及 Intel Larrabee。其次就是回读（Readback）操作，虽然说 PCI Express 32X 的数据带宽已经可以达到 18.5GB/s，而 IBM、东芝、索尼联合设计的 Cell 也是可以高度并行的处理器，但是由于其开发难度较高和不与主流硬件兼容导致普及面还不是很广泛，不过 Folding@Home 已经有了 SONY Play Station 3（PS3）的实验性程序。

我还首次将色彩理论与视频后期制作流程中的相关技术引入详细的探讨如何生成最优化的原始样本，包括从明度（Luma-Keying）与色度（Chroma-Keying）两个方面进行分析，结合具体的材质与光源，探讨如何设计采集环境的照明条件与采集设备的使用。色度与亮度是图像的基本元素，所以对这两个方面进行精确的数值分析对于获得满意的实验结果是非常有必要的。由于木屑的轨迹本质上是由于 CCD 系统在时间与空间维度上的采样率无法与木屑的运动速度相匹配所形成的运动模糊（Motion Blur）块，所以它的照明特性可以理解为是只有漫反射没有高光与 Glossy 成分，更不是相对于静态完整木材的各向异性照明特性，因此完全可以采用 Lambert 或者 Oren-Nayer 的漫反射分析模型进行近似。在电影动画的制作领域，长久以来一直使用 Matte 相关技术。将感兴趣的物体从一副现有的图片中分离开来无非是通过明度差异与色度差异进行选择，需要将 CCD 采集到的 RGB 数据转换为亮度，或者转换到 HSV 色彩空间内再进行指定数值范围内的数值筛选。这样，当采集到的样本无法在黑白二值图的范围获得满意的求解时就可以在彩色空间内进行计算。

总结

综上所述，我将利用 GPU 加速完成高速切削流形态图像边缘的跟踪与检测，不仅仅使

用传统的 OTSU 法，也尝试了在色彩空间内进行处理的方法。这种方法不仅仅成本低廉，可以迅速在生产现场部署，更加可以实现实时的疤节寻找并切割等高级实用功能。然后再将获得的边缘拟合为函数，建立数学模型，分析木材及木质复合材料高速切削过程中切屑流的分布情况，提供给实验以及生产技术人员进行参考。