

文章编号:1001-5132 (2008) 01-0011-04

一种基于视频信号处理的显微镜自动聚焦方法

王超素¹, 杨 鸣^{1,2}, 丁海波²

(1.宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 2.宁波永新光学股份有限公司, 浙江 宁波 315040)

摘要: 提出一种基于模拟图像视频信号处理的显微镜自动聚焦方法, 直接截取图像的视频信号进行实时处理, 得到正确聚焦与否的判据参数, 实现自动聚焦, 并给出了以视频信号的电平差分绝对值之和作为聚焦评价函数. 该方法具有功耗低、聚焦快等特点.

关键词: 自动聚焦; 显微镜; 视频信号

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

在现有的全自动显微镜中, 自动聚焦按原理可以分成以下 2 大类.

(1) 基于几何光学原理的聚焦方法, 即根据不同倍数的镜头有其特定聚焦点的特性, 测量样品与镜头之间的距离, 然后由透镜成像公式求出系统的像距或焦距, 从而调整系统使之处于准确对焦的状态, 即完成自动聚焦. 典型的有三角测量法、激光共轭测距法等. 这一类聚焦方法虽然聚焦精度高, 但由于显微镜的工作空间和工作对象都极其微小, 所以对生产者生产硬件的技术要求也高, 成本昂贵, 不具备经济适用性与普遍性.

(2) 基于数字图像处理的聚焦方法, 即计算机通过镜头和摄像头采集到一系列的数字图像, 对每一帧图像进行实时处理, 判断聚焦是否准确, 成像是否清晰, 并给出反馈信号控制镜头的运动, 直到采集到的图像符合使用要求, 聚焦工作完成^[1]. 这显然更适用于工作空间和工作对象都极其微小的显微视觉微操作系统. 然而, 此类方法首先要将图像的模拟信号转换为数字图像送入计算机, 还必须

用专用软件对数字图像进行分析处理, 处理过程较为复杂, 在聚焦速度方面很难实现较大的提高.

1 基于视频信号处理的显微镜自动聚焦方法

图 1 是一组显微图像的视频信号(行信号). 从图 1 中可以看到, 当聚焦准确、图像清晰时, 视频信号中高频成分的电平幅度大, 波形尖锐; 而离焦、图像不清晰时, 高频成分的电平幅度小, 波形比较圆滑; 随着图像越来越模糊, 则电平幅度越小, 波形越圆滑.

我们可以根据显微图像视频信号的这一特点, 直接截取图像的视频信号, 进行实时分析与处理, 得到图像正确聚焦与否的判据参数, 并给出反馈信号, 控制电机的运动方向, 调节系统使之处于正确聚焦状态, 实现自动聚焦.

与基于数字图像处理与分析的显微镜自动聚焦方法相比较, 这种方法不需要将模拟图像的视频

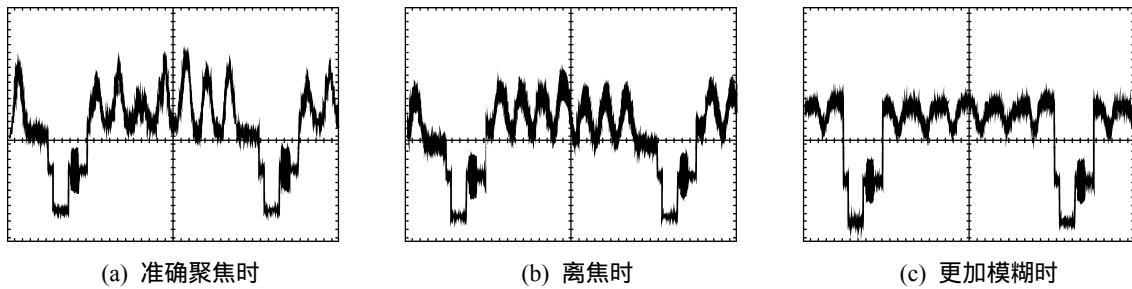


图1 显微模拟图像视频信号

信号转换为数字图像,而是直接截取图像的视频信号进行实时处理,这就大大简化了图像处理的过程,缩短了自动聚焦时间。

2 一种基于视频信号处理的显微镜自动聚焦系统

2.1 系统的结构及原理

图2是一种基于模拟图像视频信号分析与处理的显微镜自动聚焦系统的结构图,采用菲利普公司功能强大的32位ARM7单片机LPC2132作为主处理芯片,使用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统,其主要处理过程如下。

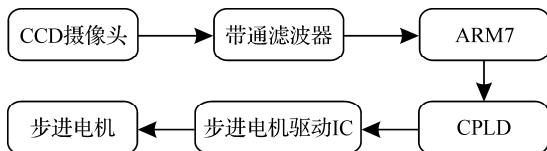


图2 一种基于视频信号处理的自动聚焦系统结构框图

被测目标由CCD模拟摄像头将光学图像转换成模拟图像的视频信号,经带通滤波器滤掉高频噪声和低频信号,留下代表图像清晰与否的高频信号,直接输入ARM7的A/D端口,对信号进行采集、处理,判断系统的焦面状态,并将结果输出给CPLD EPM3128,而CPLD则根据ARM7输入的PWM控制信号来控制步进电机的转动方向,从而控制载物台的升降,改变CCD摄像头的焦距,获得最清晰的图像并实现自动聚焦。

2.2 图像清晰度评价函数

正确聚焦与否视觉上是靠图像是否清晰来判断,而应用机器进行处理时则是以聚焦图像的一些

特征来度量。当图像清晰时,其细节丰富,在空域表现为相邻像素的特征值(如灰度、颜色等)变化较大,在频域表现为频谱的高频分量多^[3]。基于图像的这一特征,人们提出了许多有效的图像清晰度评价函数。

然而,由于本系统脱离了计算机,没有专用软件来处理数据,一些计算量大、计算复杂的评价函数显然不适用ARM7来处理信号的实时聚焦系统,因此,有必要选择一种形式简单的评价函数。

从图1可以看到,当聚焦准确时,图像清晰,视频信号中高频成分的电平幅度大,波形尖锐,即相邻两点间的电平差较大。根据信号的这一特点,可以利用信号的相邻两点的电平差的绝对值之和作为图像清晰度评价函数。即:

$$F(i) = \sum_{(x,y)} \{|f_i(x,y) - f_i(x,y-1)| + |f_i(x,y) - f_i(x-1,y)|\}, i = 0, 1, \dots, m,$$

其中, $f_i(x,y)$ 表示图像在该点的电平值,当图像聚焦时, $F(i)$ 取最大值。

该评价函数只有加减运算,计算量小,更易实现快速、实时、有效的自动聚焦,是较为理想的图像清晰度评价函数。

2.3 自动聚焦的策略

聚焦策略的本质是一维寻优问题,由于本系统所采用的最小步长较小,精度够高,因此不需要采用爬山法之类逐步逼近的方法也能得到比较精确的聚焦图像,如图3所示。

本系统所采用的自动聚焦策略具体方法如下:首先进行初始化,使载物台移动到指定的初始位置,即认为比较接近焦平面的一个位置(图3的A

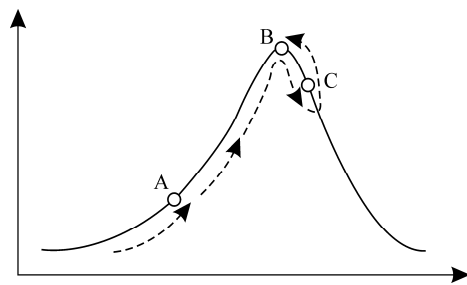


图 3 自动聚焦策略

位置)。按下“聚焦”按钮后,载物台按所设置的步长逐步上移, CCD 采集到一系列的视频信号,并通过带通滤波器后输入 ARM7,ARM7 实时计算聚焦评价函数并进行记录、比较。如果当前值小于所计算得到的最大值的 95%(图 3 的 C 位置),则认为该最大值就是评价函数的极值,即聚焦图像位置所在,载物台回移到该位置(图 3 的 B 位置),聚焦工作完成。

本系统所采用步进电机的最小步长为 $0.03 \mu\text{m}$ (电机 1 圈 0.2 mm), 实验证明,在 40 倍物镜下,效果还比较理想。

3 实验结果

为了证实所提出的方法的有效性,我们对该系统进行了大量的实验。以下实验结果都是在 40 倍物镜下得到的。

图 4 为图像清晰度评价函数在焦点附近的值归一化后的变化趋势,由曲线可以看出,所采用的评价函数具有理想的评价函数应该具有单峰性(在

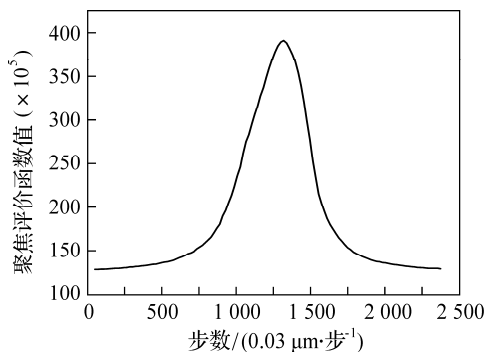
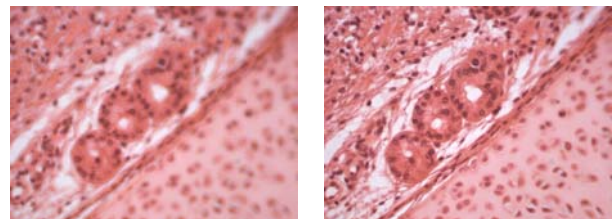


图 4 评价函数归一化曲线

调焦范围内只有 1 个极值)、无偏性(只有在系统处于最佳对焦状态时,函数才给出极大值或极小值)等特点^[3],是比较理想的图像清晰度评价函数。

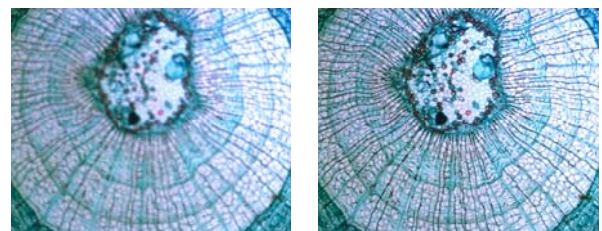
图 5、图 6 是 2 组图像聚焦前后的对比图。电机在 3 s 内走完整个行程,1 s 内实现自动聚焦。在速度方面较基于数字图像处理的方法具有明显的优势,如文献^[4]提出的一种聚焦方法,整个行程需要 10 s。



(a) 聚焦前

(b) 聚焦后

图 5 假复层纤毛柱状上皮显微图



(a) 聚焦前

(b) 聚焦后

图 6 双子叶植物茎横切显微图

4 结束语

快速、准确地自动聚焦是获取高质量图像信息的前提。一般的基于数字图像分析处理的方法,处理过程较为复杂,虽然可以达到很高的精度,但在速度方面却难以实现较大的提高。本文提出一种基于模拟图像视频信号处理的显微镜自动聚焦方法,即不把图像转换为数字图像送入电脑,而是直接截取图像视频信号,用 ARM7 单片机进行实时处理,得到图像聚焦的判据参数。简化了处理过程,可以在保证聚焦精确度的前提下,极大地提高自动聚焦速度,实现快速而准确的显微镜自动聚焦。

参考文献:

- [1] 瞿蓬, 林喜荣. 一种基于图像处理的自动调焦系统[J]. 电子技术应用, 2002(10):33-35.
- [2] 毛邦福. 显微镜自动对焦系统的设计与优化[D]. 杭州: 浙江大学信息学院, 2006.
- [3] 郑玉珍, 吴勇, 倪旭翔. 实时自动对焦的研究[J]. 光电工程, 2004, 31(4):64-66.
- [4] 吴振锋, 左洪福, 邱根良, 等. 显微镜一种新的自动聚焦算法[J]. 数据采集与处理, 2000, 15(3):351-354.
- [5] 方以, 郑崇勋, 闫相国. 显微镜自动聚焦算法的研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(12):1 275-1 277.
- [6] 周立功, 张华. 深入浅出 ARM7—LPC213x/214x[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.

A Method of Microscope Auto-focus Based on Video Signal Processing

WANG Chao-su¹, YANG Ming^{1,2}, DING Hai-bo²

(1.Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Ningbo Yongxin Optical Co. LTD, Ningbo 315040, China)

Abstract: A method of microscope auto-focus is proposed based on the video signal processing for simulated image. The video signals from the directly intercepted image are real-time processed, by which the focus determination is conducted, and auto-focus is thus achieved. Also presented in this paper is the criterion function given by the sum of the absolute values of voltage difference in the video signal. This method has a few advantages such as low power consumption and time-saving. Some technical points are made regarding the proposed method, along with the experimental results provided.

Key words: auto-focus; microscope; video signal

CLC number: TP242.6

Document code: A

(责任编辑 史小丽)