

文章编号: 1003-501X(2007)11-0126-05

图像调焦算法研究及 FPGA 实现

陈国金^{1,2}, 朱妙芬², 施浒立¹, 祝杰²

(1. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071,

2. 杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 利用图像处理方法进行自动调焦的关键是提取图像清晰度特征, 并建立其评价算法。本文研究了灰度值线性变换、灰度直方图均衡、中值滤波及同态滤波等预处理方法和基于功率谱的清晰度评价函数, 并与其它的评价方法进行了比较分析。研究表明, 中值滤波和灰度值线性变换相结合的预处理方法, 具有效果好、计算量少等优点; 基于功率谱的清晰度评价函数比其它的评价方法具有更好的调焦性能和更明确的物理意义。根据基于功率谱的图像调焦算法的特点, 设计了图像处理模块的结构框架和算法流程, 提出了流水线作业结构、“乒乓”操作模式、双蝶形处理器复用、基-2 FFT 算法的 FPGA 实现方案, 提高了图像自动调焦的计算和响应速度。

关键词: 图像清晰度; 调焦算法; FPGA; 功率谱; 基-2 FFT 算法

中图分类号: TP391.41

文献标志码: A

Study on image focusing algorithm and realization of FPGA

CHEN Guo-jin^{1,2}, ZHU Miao-fen², SHI Hu-li¹, ZHU Jie²

(1. School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xian 710071, China;

2. School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: The key to focus automatically using the image processing method is to take the character of image definition and to establish its evaluation algorithm. The paper studied the preprocessing methods, such as the linear transform of gray value, the gray histogram equilibrium, the median filter, the homomorphic filter, and the image definition evaluation function based on power spectrum. The evaluation method was analyzed and compared with other methods. The results indicate that the preprocessing method of combining the median filter with the linear transform of gray value is good in effect, little in calculation and so on. The image definition evaluation function based on power spectrum is superior in focusing performance and more definite in physics meaning to other methods. According to the characteristic of the image focusing algorithm based on power spectrum, the structure frame and algorithm flow of the image processing module were designed, and the implementation solution of the pipelining structure, the 'ping-pong' working mode, the sharing processor of double butterfly shape and the base-2 FFT algorithm in FPGA were presented in this paper. The above-mentioned measures can improve the computing and response speed of the image auto-focus.

Key words: image definition; focusing algorithm; FPGA; power spectrum; base-2 FFT algorithm

引言

利用图像处理方法进行自动调焦的关键是图像清晰度特征值的提取, 并因此而产生了多种图像清晰度评价算法。在自动调焦方面, 图像处理方法能够比相位检测法、反差检测法具有更有效的评价图像对焦程

收稿日期: 2006-12-22, 收到修改稿日期: 2007-09-19

基金项目: 国家自然科学基金(60672063); 浙江省科技计划项目(021105778)

作者简介: 陈国金(1961-), 男(汉族), 浙江宁波人, 教授, 博士研究生。主要研究工作是智能检测与控制、光机电一体化、嵌入式控制系统等。E-mail: chenguojin@163.com

度的能力。因此, 图像处理方法成为一种极具发展前景的自动调焦手段而受到人们的关注^[1]。

1 调焦算法分析

利用图像处理方法完成调焦过程的一个关键问题是找到一个理想的图像清晰度评价依据, 因此图像清晰度评价算法是自动调焦系统中调焦算法的核心。同时由于图像预处理和电机控制将直接影响最后的调焦效果, 因此本系统中调焦算法包括预处理算法、清晰度评价算法及电机控制算法三部分。

选择灰度直方图均衡方法、中值滤波方法和同态滤波方法的组合使用可以达到较好的预处理效果。然而直方图方法和同态滤波方法在实际使用时却有实现算法较为复杂、运算量较大的缺点。由于在本系统中, 运算与控制的核心芯片是 FPGA, 在 FPGA 中复杂算法的实现意味将会消耗其中大量的硬件资源。而且直方图方法和同态滤波方法只是在特别的情况下会有突出的表现, 就普遍的应用条件而言, 其它方法的使用效果并不会比这两种方法的组合相差太多, 因此本系统的图像预处理过程使用中值滤波方法和灰度值线性变换方法。

将信号从空间域变换到频域中进行分析是信号处理的常用方法。清晰的图像比模糊的图像包含更多的信息, 人们能更好地分辨其中的细节, 图像中有清晰可辨的边缘。因此高清晰度图像的主要特征是具有清晰的边缘特征和图像细节的复现性, 它对应于图像傅里叶变换后的高频分量, 而离焦模糊图像属于退化图像, 它的特征信息对应于图像傅里叶变换后的低频分量加强和高频分量的衰减^[2-3]。这就是基于功率谱的评价函数用于图像清晰度评价的基本理论依据。

边缘信息经傅里叶变换后对应于频谱的高频分量, 由于聚焦准确的图像有更尖锐、清晰的边缘, 因此这样的图像包含更多的高频分量。进而从能量角度看, 高频分量的增加使得信号的能量增加, 因此可以利用功率谱函数构建清晰度评价函数, 即

$$f(l) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{M-1} P_l(u, v) \quad (1)$$

其中: $P_l(u, v) = \frac{1}{MN} (F_{\alpha}^2(u, v) + F_{\text{im}}^2(u, v))$ 为图像信号的功率谱函数, l 为图像序号。

各个不同清晰程度图像的主要区别在于图像频率中所包含的高频成分的多少。因此构造基于功率谱的评价函数的关键是要找到一个合适的表达式来反映这个特征。这里采取对图像频谱进行加权处理的方法, 并且加权系数正好符合这样一个规律: 随着频率的增加, 它的值也增加, 反之亦然, 这样就可以更加突出地强调频谱中的高频成分。实际处理时, 加权系数采用该像素到中心像素的距离。

$$f(l) = \frac{1}{MN} \sum_u \sum_v \sqrt{u^2 + v^2} (F_{\alpha}^2(u, v) + F_{\text{im}}^2(u, v)) \quad (2)$$

式(2)是把图像频谱图中的各个像素点的频谱的各分量经加权处理后, 再求和, 得到一个能表征图像清晰度的评价参量^[4]。

对同样的系列图像, 应用基于功率谱的清晰度评价函数, 即式(2), 计算得到其调焦曲线, 如图 1 所示。为了与其它的方法作出比较, 在图中画出了 Brenner 函数和绝对方差函数的调焦曲线。

从图 1 可以看出, 功率谱函数和绝对方差函数的调焦曲线在峰值附近几乎一样, 远离峰值处, 功率谱函数的调焦值比绝对方差函数的调焦值大, 这说明功率谱清晰度评价函数对聚焦情况的判别本领接近于绝对方差函数, 在离焦情况下, 前者的判别本领比后者大。

2 清晰度评价算法的 FPGA 实现

清晰度评价算法实现的关键是计算某一图像块的频谱。本调焦系统中某一图像块的像素尺寸规定为 128×64 , 其算法流程为:

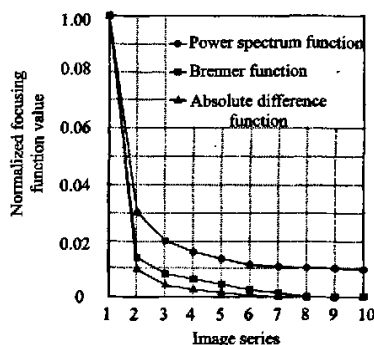


图 1 调焦曲线比较

Fig.1 Comparison of focusing curves

- 1) 对 128×64 的像素灰度值 $f(x, y)$ 进行二维快速傅里叶变换(FFT)得到 $F(u, v)$;
- 2) 因为傅里叶变换后的幅频响应是频率的偶函数^[5], 故提取上一步中得到的频域数据中的 64×32 个数据, 计算变换后的实部及相应虚部值的平方和, 获得图像信号的功率谱

$$E(u, v) = (F_{re}^2(u, v) + F_{im}^2(u, v)) / (128 \times 64), \quad u \in [0, 63], v \in [0, 31],$$

- 3) 按照公式: $d = \sum_{v=0}^{31} \sum_{u=0}^{63} \sqrt{(u^2 + v^2)} E(u, v)$, 进行加权求和, 得到一块图像的清晰度评价价值;
- 4) 重复以上 3 个步骤 5 次, 并将获得的 5 个清晰度评价价值进行加权求和, 以此作为整个图像的清晰度评价结果。

自动调焦系统应有快的响应速度, 因此 FPGA 设计时首先需要考虑的是组成模块的时间问题。根据 FPGA 设计所应遵循的系统原则, 为了满足时限约束条件, 要求从图像处理模块的整体设计入手才能使最后设计的电路在延时特性要求上获得较大的调节空间。

在以上清晰度评价算法处理流程中, 前 3 个步骤各自都有不同长度的处理延时。其中, 步骤 1) 将是耗时最多的一步。根据流水线结构的思想, 可以构造一个清晰度评价算法实现结构, 使之能够在同一时刻完成多个处理阶段的不同任务。这样做的结果是, 可以把处理时间需要最多的那个模块的延时时间作为整个系统的延时时间, 因此, 可以通过改善该模块的时间延时特性而提高整个系统的时间延时特性。

通过以上分析, 整个清晰度评价算法实现结构中的各个模块之间采用流水线结构, 同时为使数据流在各模块之间流通更为顺畅, 使用“乒乓操作”的设计结构。乒乓操作的最大特点是, 通过“输入数据选择单元”和“输出数据选择单元”按节拍、相互配合的切换, 将经过缓冲的数据流没有时间停顿地送到“数据流运算处理模块”进行运算与处理, 从而完成数据的无缝缓冲与处理。

根据上述设计结构的讨论, 自动调焦系统中设计的图像处理模块结构如图 2 所示。在图 2 中, FFT 处理器用于实现 128×64 的图像矩阵数据的二维 FFT 变换; 频谱计算单元和移位器分别完成频谱计算的实部与虚部的平方和运算和除法运算; 加权系数乘法器和累加器则共同用于完成公式 $d = \sum_u \sum_v \sqrt{(u^2 + v^2)} E(u, v)$ 的运算, 而分块加权系数乘法器与分块累加器则共同实现对 5 个清晰度评价价值的加权求和。双端口存储器 2 和双端口存储器 3 是“乒乓操作”结构中的两个缓冲器。通道选择器用于完成 FFT 处理器与频谱计算单元对双端口存储器 2 和双端口存储器 3 寻址的切换, 同时对通道选择的控制由数据流控制器实现。图像块划分器将一帧图像分割成 5 块, 并将这 5 块图像数据存储在三双端口存储器 1 中。

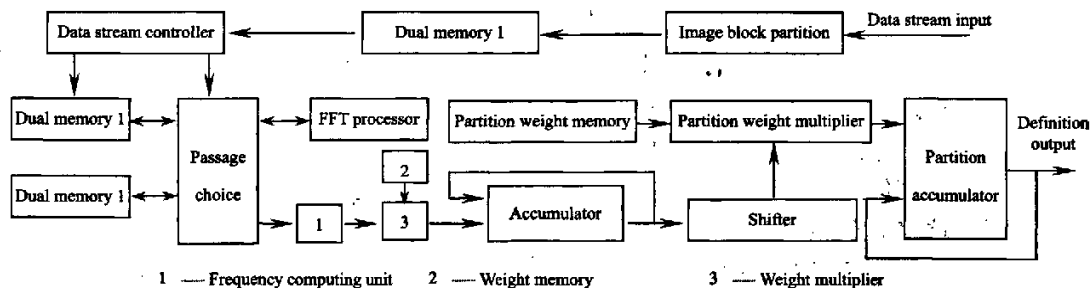


图 2 图像处理模块结构框图

Fig.2 Structure diagram of image processing module

以上过程中, 实现的关键是第一步, 即在 FPGA 中通过硬件描述语言实现二维快速傅里叶变换算法。目前, 已出现了多种快速傅里叶变换算法, 包括 Cooley-Turkey FFT 算法、Good_Thomas FFT 算法、及 Winograd FFT 算法等。其中, Cooley-Turkey FFT 算法应用最广, 也为本系统所采用, 作为在 FPGA 中实现 128×64 像素灰度值矩阵的二维快速傅里叶变换的核心算法。该算法使用两个蝶形处理器, 并通过对这两个蝶形处理器的复用实现整个基-2 FFT 算法的处理过程^[6-7], 如图 3 所示。

地址控制器输出待处理数据在三双端口存储器中的地址, 以控制双端口存储器输出的数据流, 同时输入

缓冲器依次接收四个待处理数据, 并行输出到两个蝶形处理器的各自两个端口中, 在经过一定延时后, 两个蝶形处理器同时输出四个处理结果并行输出给输出缓冲器, 之后由输出缓冲器依次将四个结果存回双端口存储器, 同时由读写控制器控制存储器的读写使能。对于 128 点基-2 FFT 算法需要经过 $32 \times 7 = 224$ 次以上的处理过程之后才能够获得最后的 128 个频域值。而 64 点, 则需要 $16 \times 6 = 96$ 次。

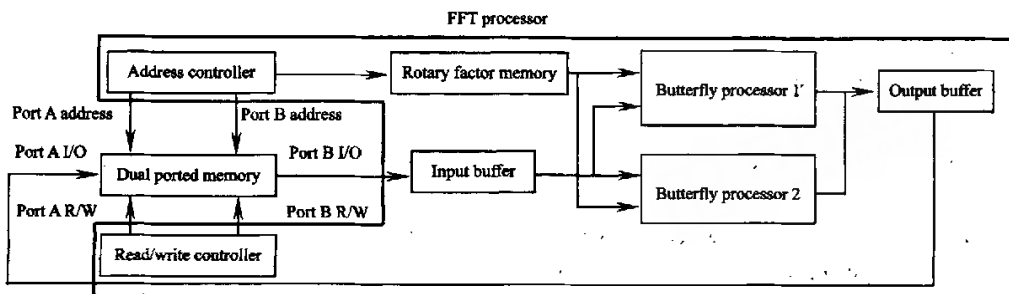


图 3 基-2 FFT 算法实现结构 (粗线框内)

Fig.3 Base-2 FFT algorithm implementation structure (in the bold frame)

3 调焦实验结果分析

在基于 FPGA 的图像自动调焦系统实验平台上, 镜头焦距调节范围为 8~80mm, 共分为 60 段, 因此焦距段取值范围为[1, 60]。测试时将焦距手动调节到最远端, 即广角位置, 再进行自动搜索调焦。搜索步数 k 、每次调焦定位位置(焦距段)及图像清晰度评价值如表 1 所示。调焦搜索过程如图 4 所示。从图 4 中可以看出, 经过 9 步搜索, 最后的调焦焦距定位在焦距段 32 处, 此时的图像最清晰。并且经过反复多次测试, 其结果与人的主观评价结果较为相符。因此认为利用图像处理方法, 基于 FPGA 实现的自动调焦系统是可行的, 并且调焦效果较为满意。

表 1 搜索过程的测试数据

Table 1 Testing data of searching process

Searching steps k	Focus segment of lens	Image definition value
1	24	4229.58
2	37	4603.63
3	46	3174.41
4	32	5336.23
5	29	4978.65
6	34	5349.36
7	31	5266.31
8	33	5290.48
9	32	5336.23

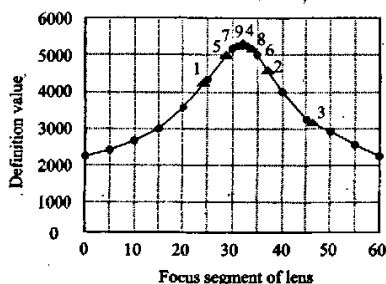


图 4 调焦搜索过程

Fig.4 Searching process of image focus

结束语

根据上述清晰度评价算法和其中的基-2 FFT算法实现结构的研究, 可以分析得到整个清晰度评价算法所需要的乘法运算次数为829445次, 加法运算次数为819199次。由于图像处理模块中的实现结构为流水线结构, 因此模块的延时时间实际上是处理时间需要最多的那个部分的时间。在FPGA实现的模块中, 处理时间需要最多的部分是FFT处理器。对一块 128×64 的图像矩阵, 当使用的系统主时钟频率为50MHz时, 图像处理模块的延时时间0.046s, 远小于8帧图像采集的0.32s间隔时间要求。上述设计方案已经在XC2S300E芯片中得到了实现, 其结果满足了设计要求。

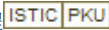
参考文献:

- [1] 白 磊. CCD 显微测量系统自动调焦技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2002.

- BAI Lei. Study on auto-focusing technology of CCD measuring microscope system[D]. Harbin: Harbin University of Technology, 2002.
- [2] 张克松. 自动调焦系统图像清晰度评价方法的研究[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2003.
ZHANG Ke-song. A study on image definition evaluation methods in autofocus System[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2003.
- [3] Kang-Sun Choi, Jun-Suk Lee, Sun-Jae Ko. New autofocusing technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, 45: 820-827.
- [4] 刘斌. 基于图像技术的自动调焦系统设计及实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
LIU Bin. Research and implementation of auto-focus method based on image technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [5] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
HU Guang-shu. *Digital signal processing - theory, algorithm and implementation*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997.
- [6] 贝斯. 数字信号处理的FPGA实现[M]. 刘凌, 胡永生. 北京: 清华大学出版社, 2003.
Beis. *FPGA implementation of Digital signal processing*[M]. LIU Ling, FU Yong-sheng. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [7] 戴明桢. 数字信号处理的硬件实现[M]. 北京: 航空工业出版社, 1998.
DAI Ming-zhen. *Hardware implementation of Digital signal processing*[M]. Beijing: Aeronautics Industry Press, 1998.
- [8] CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, WANG Ya-ka. An improved auto-focusing algorithm based on autocorrelation[A]. *CICT06*[C]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2006: 25-28.
- [9] CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, GUAN Li-ming, et al. Implementing the auto-focusing system based on the digital image process technology[A]. *Proceedings of IEE Irish Signals and Systems Conference* [C]. Dublin, Ireland: IEE CONFERENCE PUBLICATION, 2005, 511: 92-95.
- [10] CHEN Guo-jin, ZHANG Ke-song, GONG Ye, et al. Research on image definition function using in real time auto-focusing system[A]. *Proceedings of Fifth International Symposium on Instrumentation and Control Technology* [C]. Beijing, China: SPIE, 2003, 5253: 466-470.
- [11] CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, GUAN Li-ming, et al. Study on contrast evaluation function of CMOS digital camera[A]. *Proceedings of the 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*[C]. Monterey, California, USA: IEEE, 2005: 379-383.
- [12] Cheol-Hee Park, Jong-Ho Paik, Young-Hwan You, et al. Auto focus filter design and implementation using correlation between filter and auto focus criterion[A]. *ICCE Digest of Technical Papers*[C]. [S.l.]: IEEE, 2000: 250-251.
- [13] HOU Zheng-xin, WANG Wen-guan, CHU Jing-hui. A kind of 2D isotropic wavelet and its application in image primitive detection[J]. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 2002, 11(2): 123-135.
- [14] ENG How-lung, MA Kai-kuang. Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2001, 10(2): 242-251.
- [15] Getzlaff S, Schreiter J, Graupner A, et al. A system-on-chip realization of a CMOS image sensor with programmable analog image preprocessing[A]. *The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*[C]. Sydney, NSW, Australia: IEEE, 2001, 4: 486-489.
- [16] Fleming B J W, YU D, Harrison R G D Jubb. Wavelet-based detection of coherent structures and self-affinity in financial data[J]. *Eur. Phys. J. B*, 2001(20): 543-546.
- [17] Tabet M, Hornsey R. CMOS image sensor camera with focal plane edge detection[A]. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*[C]. Toronto, Ont., Canada: IEEE, 2001, 2: 1129-1133.

作者: 陈国金, 朱妙芬, 施浒立, 祝杰, CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, SHI Hu-li, ZHU Jie

作者单位: 陈国金, CHEN Guo-jin(西安电子科技大学, 机电工程学院, 陕西, 西安, 710071; 杭州电子科技大学, 机械工程学院, 浙江, 杭州, 310018), 朱妙芬, 祝杰, ZHU Miao-fen, ZHU Jie(杭州电子科技大学, 机械工程学院, 浙江, 杭州, 310018), 施浒立, SHI Hu-li(西安电子科技大学, 机电工程学院, 陕西, 西安, 710071)

刊名: 光电工程 

英文刊名: OPTO-ELECTRONIC ENGINEERING

年, 卷(期): 2007, 34(11)

被引用次数: 0次

参考文献(17条)

1. 白磊 CCD显微测量系统自动调焦技术的研究[学位论文] 2002
2. 张克松 自动调焦系统图像清晰度评价方法的研究 2003
3. Kang-Sun Choi, Jun-Suk Lee, Sun-Jae Ko New autofocusing technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras 1999
4. 刘斌 基于图像技术的自动调焦系统设计与实现[学位论文] 2003
5. 胡广书 数字信号处理—理论、算法与实现 1997
6. 贝斯, 刘凌, 胡永生 数字信号处理的FPGA实现 2003
7. 戴明桢 数字信号处理的硬件实现 1998
8. CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, WANG Ya-ka An improved auto-focusing algorithm based on autocorrelation 2006
9. CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, GUAN Li-ming Implementing the auto-focusing system based on the digital image process technology 2005
10. CHEN Guo-jin, ZHANG Ke-song, GONG Ye Research on image definition function using in real time auto-focusing system 2003
11. CHEN Guo-jin, ZHU Miao-fen, GUAN Li-ming Study on contrast evaluation function of CMOS digital camera 2005
12. Cheol-Hee Park, Jong-Ho Paik, Young-Hwan You Auto focus filter design and implementation using correlation between filter and auto focus criterion 2000
13. HOU Zheng-xin, WANG Wen-guan, CHU Jing-hui A kind of 2D isotropic wavelet and its application in image primitive detection 2002(02)
14. ENG How-lung, MA Kai-kuang Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter 2001(02)
15. Getzlaff S, Schreiter J, Graupner A A system-on-chip realization of a CMOS image sensor with programmable analog image preprocessing 2001
16. Fleming B J W, YU D, Harrison R G D, Jubb Wavelet-based detection of coherent structures and self-affnity in financial data 2001(20)
17. Tabet M, Hornsey R CMOS image sensor camera with focal plane edge detection 2001

相似文献(5条)

1. 期刊论文 朱明峰, 王命延 基于彩色离焦模糊图像清晰度评价的启发式调焦算法 -南昌大学学报(理科版)

运用启发式搜索策略提出了一种基于彩色离焦模糊图像清晰度评价的启发式调焦算法. 算法采用了以2为模的Sobel算子梯度建立图像清晰度评价函数的数学模型. 该评价函数具有无偏性好, 单峰性强, 灵敏度高, 在焦平面变化趋势明显等特点. 我们给出了结合启发式搜索策略的具体算法. 实验结果证明, 所提出的启发式调焦算法精度高, 可重复性强, 并对图像噪声具有良好的鲁棒性.

2. 期刊论文 [陈国金](#), [朱妙芬](#), [施许立](#), [祝杰](#), [CHEN Guo-jin](#), [ZHU Miao-fen](#), [SHI Hu-li](#), [ZHU Jie](#) [基于现场可编程门阵列的图像调焦系统](#) - [系统工程与电子技术](#) 2008, 30(2)

数字图像自动调焦技术, 不仅能提高调焦精度, 而且能降低对成像系统加工和装配精度的要求. 采用基于功率谱的评价函数对成像系统的聚焦位置进行识别, 提出了基于现场可编程门阵列(FPGA)的自动调焦系统实现方案, 主要完成图像预处理、清晰度判别和对焦控制等功能. 针对自动调焦算法计算量大、计算复杂等特点, 采用中值滤波和灰度值线性变换的图像预处理方法, 以及流水线作业、“乒乓”操作、双蝶形处理器复用、基-2 FFT算法相结合的工作模式. 研究表明, 利用FPGA强大的并行及高速数据处理能力, 使得图像调焦算法不再成为复杂控制系统的速度瓶颈.

3. 期刊论文 [李晓燕](#), [朱庆生](#), [LI Xiao-yan](#), [ZHU Qing-sheng](#) [一种基于图像清晰度评价的天文望远镜自动调焦系统](#) - [天文研究与技术—国家天文台刊](#) 2008, 5(3)

在天文望远镜上应用自动调焦技术, 可以提高调焦的自动化程度和效率, 改善调焦精度和成像清晰度, 避免对操作人员调焦经验的依赖. 由于天文望远镜观测到的天体图像细节较少, 不适合使用照相机的自动调焦算法. 本文提出了一种新的适用于天体目标观测的离焦判据.

4. 期刊论文 [贾晓飞](#), [李宜斌](#), [陈德智](#), [许家新](#), [JIA Xiao-fei](#), [LI Yi-bin](#), [CHEN De-zhi](#), [XU Jia-xin](#) [非制冷红外热像仪的快速自动调焦算法设计](#) - [激光与红外](#) 2009, 39(6)

基于数字图像处理技术, 提出了一种相融合的自动调焦设计方案, 并将其应用于现有非制冷热成像系统, 达到了快速、准确的自动调焦要求, 减小了硬件资源消耗.

5. 学位论文 [张群明](#) [用于微装配的显微镜自动调焦技术研究](#) 2003

微操作技术是微机电研究领域的关键技术之一. 在微操作系统中较多地使用改进后的光学显微镜放大微观场景, 并采用计算机处理显微数字图像. 为了实现微操作系统的自动化, 要求图像采集系统具有自动调焦功能. 该文研究了采用数字图像处理技术实现光学显微镜自动调焦的方法, 应用于微小零件的自动装配. 主要对自动调焦中的关键问题进行了深入的研究, 包括提高显微图像信息质量的方法、图像清晰度评价函数的构造选取. 光学显微镜和显微图像数字化设备是实现自动调焦的基础, 该论文对显微数字图像成像光路过程、显微镜景深原理, 以及影响图像质量的因素进行了分析. 离焦状态的准确判断必须建立在得到较高质量的图像信号的基础上, 由于图像采集中必然夹杂各种噪声, 对显微图像进行去噪预处理很必要. 该论文研究了数字图像的滤波去噪, 比较了中值滤波和几种均值滤波方法的优劣以及对自动调焦的影响. 该论文在图像的空间域和频率域研究了几类图像清晰度评价函数的构造, 包括灰度变化函数、梯度函数、图像灰度熵函数和频域类函数, 分析了几种算法的优劣和适用范围. 在作者研制的显微图像采集系统样机上, 利用灰度差分绝对值之和与能量谱-熵两种清晰度评价函数, 针对具有直线和非直线边缘的微装配器件, 分别进行了自动调焦实验. 实验表明该调焦算法显示出良好的品质, 可以快速、准确地完成针对微小零件装配中的显微镜自动聚焦.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_gdgc200711026.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgxy), 授权号: 83784bf6-d57e-4f45-8757-9df20110369b

下载时间: 2010年9月15日