

Auto-Focusing System Based on DSP

CAI Chang-jin^{1,2}, ZHU Ming¹(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Due to the development of digital image process theory, auto-focusing system is changed from optic to digital image process now. An auto-focusing system including the functions of image sampling, pre-processing and real-time control is introduced. This system bases on the core digital signal processor chipset TMS320C6416. The hardware, principles and algorithms of this real-time digital image processing system are presented. The result indicates that the system has good properties of real time, stability and auto-focusing fast and exactly.

Key words: image process; auto-focusing; Digital Signal Processor; evaluated function;

EEACC: 7720

基于 DSP 的自动调焦系统

蔡昌金^{1,2}, 朱 明¹(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 由于数字图像处理理论的逐渐成熟和完善, 现今的自动调焦系统已由原基于光学系统的自动调焦转换为基于各种数字图像处理方法的自动调焦. 由此介绍一种基于 DSP 芯片 TMS320C6416 为核心处理器进行图像采集、预处理和实施控制的自动调焦系统. TMS320C6416 芯片的总体性能可比 C62xx 提高一个数量级. 重点说明了该实时数字图像处理系统的硬件组成、工作原理和软件算法. 结果表明该系统具有高度的实时性和稳定性, 能够快速准确的完成自动调焦.

关键词: 图像处理; 自动调焦; DSP; 评价函数;

中图分类号: TN918.8

文献标识码: A 文章编号: 1005-9490(2007)01-0297-03

在数字监控系统中, 摄像头一般采用焦距、变倍和亮度可调的三可变摄像头控制. 而在摄像场景大或者需要对目标进行跟踪的视频监控应用中, 摄像头的固定景深不能满足跟踪的要求, 摄像头的焦距必须进行较大的调整才能获得清晰的图像, 这就要求具备一个根据摄像头获得的图像的清晰度进行自动调焦的系统, 随着现代计算机技术的发展和数字图像处理理论的日益成熟, 自动调焦技术已进入了一个全新的数字化时代, 并且由于 CCD 器件的发展, 例如增强型 CCD (ICCD)、电子轰击型 CCD (EB-

CCD) 等已普遍应用, 同时由于数字信号处理器件, 如高速模数转换器件 (A/D), DSP 芯片的发展, 越来越多的自动调焦系统运用的是数字图像处理理论. 各种新的数字信号处理方法也得到了广泛的应用. 为了满足自动调焦系统的实时性, 应该采用高速的数字处理器件、最优的硬件结构和快速算法.

1 自动调焦系统硬件平台

硬件主要包括 CCD 图像传感器、A/D 转换器、数字信号处理器 (DSP)、存储器、步进电机. 系统通

收稿日期: 2006-03-03

作者简介: 蔡昌金 (1979-) 男, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生 主要研究方向为实时数字图像处理, caichangjin@126.com;

朱 明 (1964-) 男, 研究员, 从事数字图像处理、电视跟踪和自动目标识别技术的研究, caichangjin@126.com.

过 CCD 图像传感器获得图像信号,通过高速 A/D (BT835)采样量化后的图像数据送入数字信号处理器进行图像预处理和清晰度的计算,将获得的反馈控制信号送入步进电机中,使步进电机拖动 CCD 图像传感器达到理想的位置. 本系统主要使用业界高性能的 DSP 芯片 TMS320C6416 为核心构成实时自动调焦的数字图像处理平台,系统原理框图如图 1 所示.

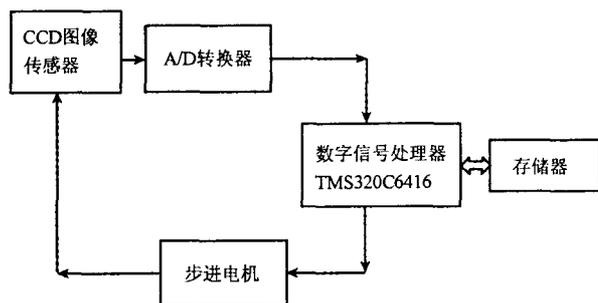


图 1 系统硬件总体结构图

TMS320C64x(C64x)是 TI 公司推出的高性能的 C6000 定点数字信号处理器(DSP). 它的时钟频率达到 1GHz,能够以 8800MIPS(每秒百万条指令)的速度处理信息. C64x 扩展了原有 VelociTI(甚长指令字)结构为 VelociTI 2, 总体性能可比 C62xx 提高 10—15 倍. C6416 用了两级高速缓存,片内存储容量为 1 056 kbyte,一个 64 bit 总线宽度的 EMIFA(外部存储器接口),一个 16 bit 总线宽度的 EMIFB,带 64 个独立通道的 EDMA,以及 PCI 等多种外设. 但由于其内部没有 ROM 存储器,需要外部引导,可采用外挂 FLASH 来存放程序,通过在系统编程可以实现将用户程序代码写入 FLASH. 一般系统程序都是远大于 1k byte,但 C6416 复位时只能复制 1k byte 的程序到片内 SRAM,而剩余的程序就必须通过 1k byte 的引导程序将系统程序移到目的地址,这个可由用户自行确定 FLASH 中头 1 kbyte 的二次引导程序来完成. 此项工作是本硬件系统的重点和难点. 本文采用外挂 AM29LV800 (FLASH)来存放程序,即使用 ROM 引导方式,通过在系统编程操作实现将程序代码写入 AM29LV800,并将 1 kbyte 的二次引导程序和被引导的系统程序统一放在主程序中. 在本设计中视频 A/D 选用 BT 公司生产的一款视频解码芯片 BT835,它是一种高性能的 NTSC/PAL/SECAM 复合视频解码器,低功耗、低价格,具有卓越的三线自适应梳状滤波器能克服传统梳状滤波器的人工痕迹而保证全屏视频分辨率,其灵活的像素端口即支持数字视频输入又支持 VIP、VMI、ByteStream 这

些流行图像控制器接口,是一种应用于便携式视频采集系统的理想器件. 实验证实本系统可良好的实现系统自动调焦.

2 自动调焦系统软件平台

调焦系统所用软件是数字信号处理器(DSP)的汇编程序,主要完成图像的存储控制、图像预处理、清晰度评价函数的计算和步进电机的控制. 本系统的主程序流程如图 2 所示.

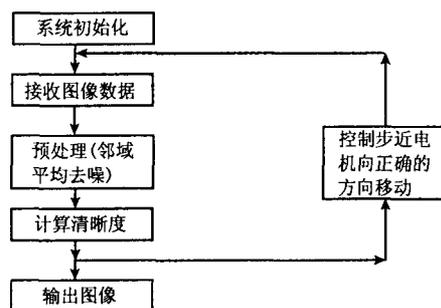


图 2 系统流程图

2.1 邻域平均法去噪

图像在成像过程中会引入各种各样的噪音,有的是加性噪音,有的是信号相关噪音,有的是脉冲噪音. 噪音的成分不同,采取消除噪音的方法也会有所不同. 图像的轮廓细节一般集中在图像频谱的高频分量,而图像的噪音信号一般也是集中在高频段内. 如果采用低通滤波器的方法,则在消除噪音信号的同时也消减了图像的高频分量,这样会使图像中物体边界变的模糊不清,致使清晰度下降而影响自动调焦系统. 由于图像的分布具有很大的相关性,即图像中相邻像素间有很大的相关性,而噪音则是独立地叠加在图像上的,其均值应该是 0. 所以可以用一种非常简单有效的方法实现滤波,即用相邻像素灰度值的平均值代替原来图像的灰度值,从而实现图像的平滑和去噪.

设一幅个 $N \times N$ 像素的图像 $f(x, y)$, 去噪后该点灰度值为:

$$g(x, y) = \frac{\sum_{(m, n) \in S} f(m, n)}{M} \quad (1)$$

式(1)中, S 是点邻域中点的坐标集合, M 是集合内坐标点总数. 邻域 S 的大小可根据实际情况具体选择,一般可将 S 定义为以该点为中心,半径为像素间距的圆的内部集合. 此法对抑制噪音是非常有效的,但是如果选择的邻域增大,那么图像的模糊程度也会随之增大,为了避免此现象产生,可以采用阈值法减少图像的模糊程度,具体方法如下式所示:

$$g(x, y) = \begin{cases} \sum_{(m,n) \in S} f(m, n) / M & |f(x, y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m, n)| > T \\ f(x, y) & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, T 即是规定的非负阈值, 表示当一些像素和它邻域内的像素灰度平均值的差大于规定的阈值 T 时, 就用它们的平均值代替该点像素的灰度值, 否则就仍然保留其原灰度值不变. 经过这样的平滑处理后可以滤除部分加性噪音和脉冲噪音, 可以使信噪比提高 $\sqrt{M} \cdot \sqrt{N}$ 倍.

2.2 清晰度评价函数计算

清晰度函数是描述摄像头对图像的聚焦程度的函数, 镜头聚焦的位置不同, 获得的图像的清晰度也就不同. 自动调焦意味着系统自动将聚焦调整到最佳的位置即清晰度函数值最大的位置. 一般用来计算图像清晰度的函数有: ① 基于图像统计的方法如灰度方差法和直方图法等. ② 基于图像边缘检测的方法如 Laplacian 算子法和 Sobel 算法等. ③ 基于变换域的方法如 Fourier 算法等. 以上的清晰度曲线图均具有单峰特性, 即存在唯一一个焦距位置使图像的清晰度函数值最大. 各种方法在计算速度和对图像清晰度的敏感程度上各不相同, 对具体的图像有不同的敏感性. 本文采用相邻像素灰度方差法进行计算, 此法运算速度快适合作大范围的快速自动调焦. 公式如下:

$$F[f(x, y)] = \sum |f(x, y) - f(x+1, y)| + \sum |f(x, y) - f(x, y+1)| \quad (3)$$

式(3)中 $f(x, y)$ 为 (x, y) 图像点的灰度值. 应用此函数对采集的每一帧数字图像进行计算, 并找出其中 $F[f(x, y)]$ 值最大的一帧, 此帧即是指清晰度函数值为最大, 说明对于自动调焦系统此帧图像最清晰, 应驱动步进电机返回此帧.

2.3 搜索算法

自动调焦的速度由调焦步进电机的速度, 图像清晰度函数的计算速度和最大清晰度位置的搜索速度三个部分决定. 搜索方式是影响搜索速度的重要因素, 它决定计算的次数和电机驱动次数. 本设计的搜索方法是全局搜索法, 即对镜头的每个预设焦距位置从远到近进行检测并进行计算其清晰度参数, 找出清晰度最大的位置, 然后驱动步进电机直接返回该聚焦位置.

3 实验结果

针对本文上述提出的基于 DSP 芯片

TMS320C6416 为核心的自动调焦数字图像处理平台, 采用运算速度快的相邻像素灰度方差法进行调焦验证, 得到的清晰度评价函数曲线如图(3)所示:

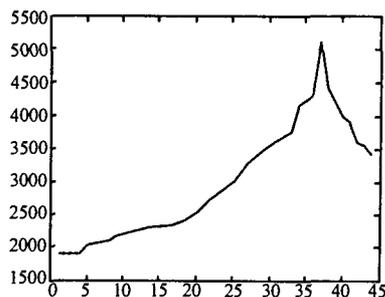


图 3 清晰评价函数曲线

从图中可以看出此清晰评价函数具有单峰性, 灵敏度很高, 可以满足快速自动调焦的要求.

4 讨论

本文介绍一种基于 DSP 芯片 TMS320C6416 为核心处理器进行图像采集、预处理和实施控制的自动调焦系统. 在自动调焦过程中, 采用相邻像素差分法来确定聚焦的最佳位置, 实验表明此系统具有较强的实时性和鲁棒性. 但调焦的精度和抗噪性能与所选的电机步距有关, 在步距较大时调焦总是成功的, 但如果所选的步距较小, 噪声的干扰相对清晰度的变化值将随之增大, 将对清晰度评价曲线的单峰性有所影响, 这样会使系统的整体自动调焦效果有所下降. 解决的办法是可以首先采用相邻像素差分法进行一次快速出调, 然后在采用其他的清晰度评价函数进行二次自动对焦, 这样将会快速准确的完成自动调焦.

参考文献:

- [1] 张雄伟, 陈亮等. DSP 集成开发与应用实例. [M]. 电子工业出版社, 2002. 17-18.
- [2] 刘榴娣, 刘明奇, 党长民. 实用数字图像处理. [M] 北京理工大学出版社, 1998: 107-111.
- [3] 徐定杰, 王晓溪. 数字图像处理在焦距测量中的应用[J]. 国内科技, 1998, (7): 37-38.
- [4] 苏光大. 图像并行处理技术[M]. 清华大学出版社, 2002. 64-65.
- [5] 吴晓波. 图像边缘特征分析[J]. 光学精密工程. 1999, 7(1): 59-61.
- [6] 王念旭. DSP 基础与应用系统设计. [M]. 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [7] 任四刚, 李见为, 谢利利. 基于灰度差分法的自动调焦技术[J]. 光电工程, 2003, 30(4): 53-55.
- [8] 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.