

基于 DSP 的嵌入式显微图像处理系统的设计

张怀柱^{1,2}, 尹传历^{1,2}, 宋建中¹, 乔双^{1,3}

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2.中国科学院研究生院, 北京 100039; 3.东北师范大学 物理系, 吉林 长春 130024)

摘要: 为了对显微图像进行有效统计与测量, 提出了一种以 DSP 为核心的嵌入式图像采集处理系统, 设计了基于 DSP/BIOS 的应用程序。首先利用中值滤波、自适应阈值分割等算法对图像进行预处理, 将目标从背景中分离出来, 然后采用扫描标记的算法对目标加以标记, 最后实现对目标的数目及面积等几何尺寸的测量。

关键词: 显微图像处理; 中值滤波; 自适应阈值; DSP/BIOS

Design of an embedded micrograph processing system based on DSP

ZHANG Huai Zhu^{1,2}, YIN Chuan Li^{1,2}, SONG Jian Zhong¹, QIAO Shuang^{1,3}

(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;
3.Physics Department, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: In order to achieve effectively statistics and measurement of micrograph, an embedded image gathering and processing system which take a DSP as the core processor is put forward. The application program is designed based on DSP/BIOS. Using median filtering and auto-adapted threshold algorithms, the micrograph is preprocessed firstly, which could separate the objects from the background. Then the objects are labeled through the scanning labeling algorithm. Finally, realizes the measurement of the object's number and the geometry parameters such as area etc.

Key words: Micrograph processing; Median filtering; Auto-adapted threshold; DSP/BIOS

显微图像处理是数字图像处理的一个重要研究领域, 随着其技术的不断发展, 已经在材料、生物、医学等领域得到了广泛应用^{[1][2]}。目前的显微图像处理通常利用图像采集系统将显微图像采集到计算机中再进行图像处理, 这样, 虽然运算速度高, 但体积庞大、不便于携带, 有一定的局限性。因此, 采用数字图像处理技术和 DSP 技术实现颗粒显微图像的高效、快速、全面的统计与测量, 具有重要的实用价值和广阔的应用前景。

本文提出并设计了一种基于 DSP 和 FPGA 的嵌入式显微图像采集处理系统, 如图 1 所示。其中, 图像采集与处理装置是整个系统的关键部件, 它以 DSP 和 FPGA 为核心, DSP 作为中央处理器负责图像滤波、阈值分割及目标的数目、直径及面积等统计处理, 通过 FPGA 完成各种接口逻辑和时序匹配, 并配以大容量存储器用于图像的存储。DSP 芯片体积小, 运算速度快, 使用灵活方便; FPGA 具有在系统可编程和控制逻辑实现灵活的特点。因此, 既能够满足处理的快速性, 又能满足小型化便



图 1 嵌入式显微图像处理系统

于携带的要求。

1 系统硬件平台设计

基于视频图像处理的显微图像处理系统的性能, 在很大程度上依赖于其硬件处理单元的结构和性能。本系统所采用的硬件结构主要由 5 大模块组成: DSP 核心处理单元、视频图像采集与存储模块、字符与图形迭加单元、通讯与用户交互接口模块、电源模块。系统电路框图如图 2 所示。

系统的工作过程为: 系统上电后, DSP 执行 BOOT-LOAD 程序, 将用户程序代码从外部 Flash load 到内部程序存储器, 并执行 A/D、字符迭加等初始化操作。视频采集与转换模块将 CCD 摄像机输出的模拟视频信号转换为数字图像数据并存储在 RAM 中, 在一场图像采集完

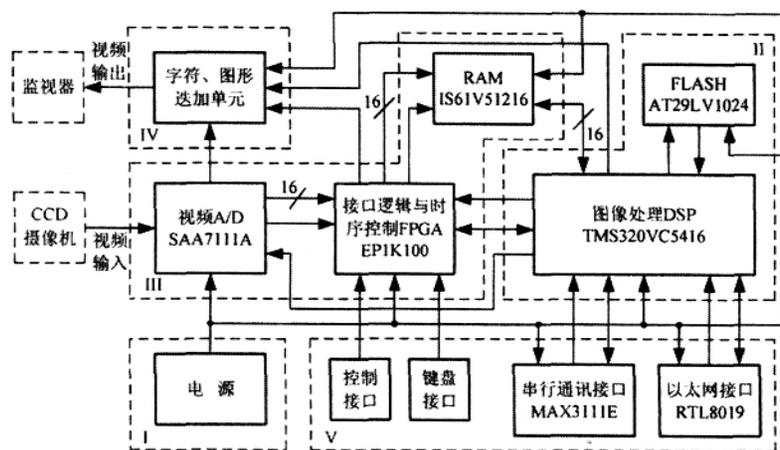


图2 嵌入式显微图像处理系统硬件结构框图

而后，由场同步信号通过FPGA以中断方式通知DSP，DSP从RAM中读取图像，并负责完成图像滤波、分割、测量等各种处理算法，将测量结果通过字符图形迭加单元显示在监视器屏幕上，也可以根据需要由通讯接口模块传送给主机。各种接口逻辑与时序控制通过在FPGA器件内部编程实现。

模拟视频信号分为两路：一路经A/D转换为数字图像信号，另一路则与视频叠加芯片MAX442和字符叠加芯片 μ PD6453进行图形和字符的叠加显示。这里采用Philips公司的SAA7111A作为视频A/D解码芯片，它将CCD摄像机输出的模拟视频信号转换为数字图像数据，并在FPGA的控制下存储在RAM中，同时产生行同步信号HS、场同步信号VS、奇偶场标志信号RTS0以及像素时钟信号LLC2。MAX442是一个双通道视频信号放大器，增益带宽高达140MHz。 μ PD6453为NEC公司生产的用于视频设备中的字符发生芯片。待显示的字符和图形与CCD摄像机输出的原始图像一起叠加显示在监视器屏幕上。

在图像采集过程中，视频解码芯片SAA7111A按像素逐点输出4:2:2的YUV格式的数字图像数据。该格式中，每帧图像的分辨率为720×576，即每行有720个像素点，每帧576行，由于一帧图像是由奇、偶两场图像组成的，因此每场图像有288行。为了处理方便，每场采集的图像大小为512×256，即每行采集512个像素，每场（奇场或偶场）采集256行，通过在FPGA中编程实现像素延时和行延时，选择每行中间的512个像素和每场中间的256行。

2 软件设计

传统的DSP程序多采用单线程顺序结构实现，其实时性较差，资源利用率低，在高速、实时的图像处理领域中难以满足实际要求。CCS(Code Composer Studio)是一个完整的DSP集成开发环境，不仅集成了常规的开发工具，如源程序编辑器、代码生成工具（编译、链接器）以及调试环境，还提供了DSP/BIOS开发工具。DSP/BIOS

是一个简易的嵌入式操作系统，它本身仅占用极少的CPU资源，而且是可裁剪的，能大大方便用户编写多任务应用程序，增强对代码执行效率的监控，提高程序的可读性，方便用户应用程序的编写，缩短软件开发周期。

2.1 软件程序框图

本文在DSP/BIOS的基础上，设计开发了显微图像处理系统的DSP应用程序。使用混合语言编程，用C语言设计程序中对运行时间影响不大的模块，用汇编语言设计严格要求实时性的核心算法。在这里，程序采用模块化设计，各个功能模块相互独立，程序框图如图3所示。该程序主要由1个主程序初始化模块、3个硬件中断HWI处理模块、1个软件中断SWI处理模块和4个任务模块TSK构成。

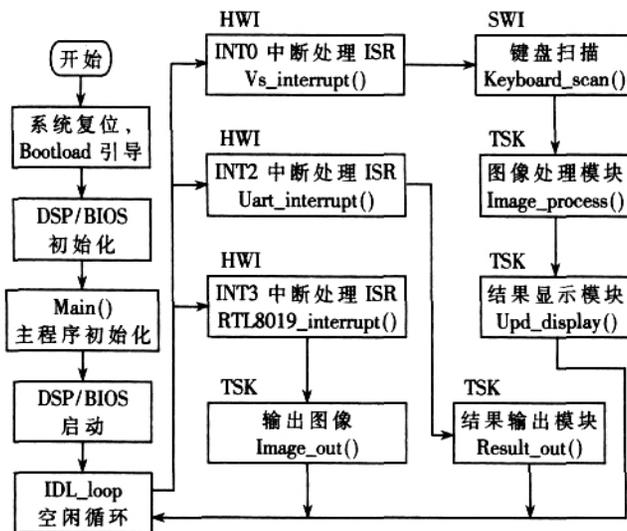


图3 基于DSP/BIOS的显微图像处理系统软件框图

当系统复位后，DSP执行Bootload引导程序，并将程序入口点设置到c_int00处，DSP/BIOS应用程序从该处开始运行，执行过程为：首先调用DSP/BIOS初始化模块，并调用主函数main()，由main()函数负责完成硬件资源分配及各种外围芯片工作方式的初始化设置；然后启动DSP/BIOS，并进入空闲循环周期。这时，应用程序完全由硬件中断驱动，只有产生中断时，才会执行相应的功能模块，执行完毕后跳出继续执行Idle空闲循环程序。

2.2 图像处理算法设计

当采集完一场图像后，FPGA以中断方式通知DSP，触发DSP的INT0中断。由于一场图像的时间间隔为20ms，因此每隔20ms触发一次该中断。在中断处理程序Vs_interrupt()中启动键盘扫描SWI，若有键按下，则执行相应的图像处理程序。

显微图像受光源光照强度的影响很大，采集的图像往往质量较差、亮度不均匀，目标区域不易从背景区域中分离出来。为此，需要首先对图像进行滤波处理，然后

采用自适应阈值的办法将目标从背景中提取出来, 并利用数学形态学的方法进一步去噪处理, 最后完成对图像中目标的统计测量计算。

首先, 利用中值滤波进行图像平滑, 窗口大小选择 3×3, 采用十字状窗口。中值滤波在保持目标图像边缘的同时, 去除了尖峰干扰, 使图像背景

的亮度更均匀, 便于进一步的图像分割处理。

由于光源光照强度的影响, 背景的灰度值在整幅图像中存在很大差别, 如果只用一个固定的全局阈值对整幅图像进行分割, 则由于不能兼顾图像各处的情况而使分割效果受到影响。为提高分割的精确性, 可采用随背景灰度值缓慢变化的动态阈值分割的方法, 即自适应阈值算法。具体做法是: 首先将原图像分解成系列子图像, 由于子图相对原图很小, 因此受阴影或对比度空间变化等问题的影响会比较小; 然后对每个子图计算一个局部阈值; 最后通过对这些子图所得到的阈值进行线性插值, 就可以得到对原图中每个像素进行分割所需要的合理阈值。分割后的二值图像再利用数学形态学变换中的开、闭运算并选取合适的算子, 便可以很好地消除图像中仍然存在的少量噪声点, 利于下一步的工作。

这里, 在局部阈值计算时采用最大类间方差法^[6], 其计算公式为:

$$\sigma^2(T) = W_A(\mu_a - \mu)^2 + W_B(\mu_b - \mu)^2 \quad (1)$$

其中: $\sigma^2(T)$ 为两类间最大方差, W_A 为目标概率, μ_a 为目标的平均灰度, W_B 为背景概率, μ_b 为背景平均灰度, μ 为图像总体平均灰度。即阈值 T 将图像分成 A、B 两部分, 使得两类总方差 $\sigma^2(T)$ 取最大值的 T , 即为最佳分割阈值。

为了实现对显微图像中目标的数目以及直径、面积等几何特征的统计测量, 采用了对二值图像的目标区域进行标记归类的算法^[7]。首先对二值图像的目标区域从左到右、自上而下进行扫描, 若为目标点, 则对其加以标记, 并根据八连通原则将属于同一个颗粒的目标图像赋予相同的数值。标记归类算法示意图如图 4 所示。由于目标的几何形状是不规则的, 一次扫描不能够把所有目标全部区分开来, 因此要对二值图像进行多次扫描。图 4(a) 表示二值图像(黑色区域为目标, 白色为背景), 图 4(b) 为对目标区域的一次标记, 图 4(c) 为最后标记完成的结果。其中, 数字 1 表示 1 号目标, 数字 2 表示 2 号目标。从图 4 可以看出, 1 号目标的标记经过一次扫描就能够完成, 而 2 号目标则需要二次扫描方可完成标记。目标图像经过标记归类后就可以很方便地对目标的数目及直径、面积和周长等特征进行测量了。

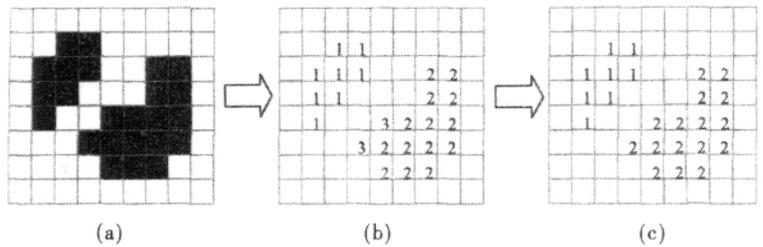


图 4 扫描标记算法示意图

粒图像进行了大量的采集处理与统计测量实验。图 5(a) 是现场采集的一幅颗粒显微图像, 图像大小为 512×256, 由于光源光照强度的影响, 整幅图像背景不均匀。图 5(b) 是采用自适应阈值二值化后的图像, 目标区域与背景区域已经分离开, 虽然还有少量的噪声点, 但是经过数学形态学变换后已经能够准确地进行颗粒的统计计算。

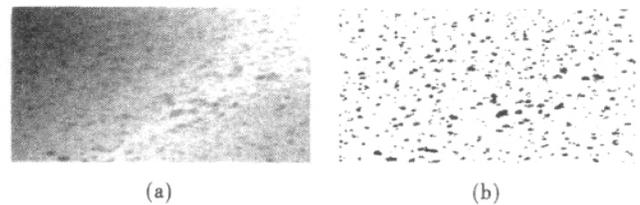


图 5 显微图像及其处理结果

在统计测量过程中, 面积小于 3 个像元的目标被当作噪声干扰而略去不计, 只对面积大于等于 3 个像元的目标加以统计。为了便于进一步的分析和比较, 将目标按像元数目分成 9 个档次: 3~10、11~20、21~30、31~40、41~50、51~60、61~70、71~80 和 81 以上。对颗粒的数目、平均面积以及各档次所占比例进行了统计计算, 结果如表 1 所示。实验中, 在 DSP 芯片 TMS320VC5416 工作在最大工作频率 160MHz 时, 程序的运行时间约为 15ms。由于视频采集为 PAL 制, 一场图像时间为 20ms, 因此能够达到实时性要求。

本文提出了一种以 TMS320VC5416 作为图像处理的核心部件的嵌入式显微图像处理系统, 设计了基于 DSP/BIOS 的应用程序。利用自适应阈值算法对采集的图像进行准确的分割, 并采用扫描标记算法对油膜颗粒显微图像进行了统计测量实验。实验结果表明, 利用本系统对颗粒显微图像进行统计, 可达到全面、客观、方便且自动化程度高的效果, 可以应用于各种显微图像的统计与分析, 具有较高的实用性。

表 1 颗粒显微图像统计结果

面积区间/像元数	3~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81 以上
平均面积/像元数	6	14	25	35	45	54	63	75	139
颗粒数目/个	396	212	118	67	45	28	10	13	16
比例/%	43.76	23.43	13.04	7.40	4.97	3.09	1.10	1.44	1.7

3 实验结果

为了验证系统的可靠性, 对来自显微镜下的油膜颗

参考文献

[1] 辛莉, 胡茂海, 周绍光. 水稻花粉颗粒显微图像采集与分

基于 DSP 的 DSTATCOM 触发系统的实现

张军利

(宝鸡文理学院 电子电气工程系, 陕西 宝鸡 721007)

摘要: 基于 DSP 的 SVPWM 脉冲信号的产生, 并以此脉冲信号触发 DSTATCOM 装置工作, 从而产生期望的无功功率, 实现无功补偿的目的。

关键词: 配电网静止同步补偿器; 数字信号处理器; 空间矢量脉宽调制; 触发系统

Realization of DSTATCOM triggering system based on DSP

ZHANG Jun Li

(Department Electronics & Electric., Baqi University of Arts& Science, Baqi 721007, China)

Abstract: The DSP-based SVPWM pulse width modulation system is introduced, which can be used to trigger DSTATCOM. DSTATCOM can generate the desired reactive power to achieve the purpose of reactive power compensation.

Key words: DSTATCOM; DSP; SVPWM; triggering system

DSTATCOM 的工作原理可以简单描述为: 将自换相桥式电路通过电抗器或者变压器并联在电网上, 适当地调节桥式电路交流侧输出电压的相位和幅值, 或者直接控制其交流侧电流, 就可以使该电路吸收或者发出满足要求的无功电流, 实现动态无功补偿的目的。脉冲触发系统作为 DSTATCOM 控制系统的重要组成部分, 其根据控制电路输出的控制信号产生相应的触发脉冲以驱动功率器件工作。文献[1]介绍了基于 CPLD 的 SPWM 脉冲发生器的实现过程, SPWM 实现相对简单容易, 但其谐波含量高、电压利用率不高。文献[2]介绍了特定谐波消除 (SHE-PWM) 技术应用用于 DSTATCOM 脉冲触发系统。SHE-PWM 算法可以很好地起到消除 DSTATCOM 输出电压电流低次谐波的目的, 然而对低次谐波的消除是以牺牲高次电压谐波为代价的, 并且电压谐波集中在开关频率附近。本文介绍了基于 DSP 的 SVPWM 脉冲信号的产生, 并以此脉冲信号触发 DSTATCOM 装置工作, 从而

产生期望的无功功率, 实现无功补偿的目的。

1 DSTATCOM 主电路及控制方法简介

DSTATCOM 主电路分为电压桥式电路和电流桥式电路。两者的区别是直流侧分别采用电容和电感这两种不同储能元件。对电压型桥式电路, 需要串联电抗器才能并上网; 对电流型桥式电路, 需要并联电容器才能并上网。由于运行效率的原因, 实际应用的 DSTATCOM 大多采用电压型桥式电路, 图 1 给出了电压型静止同步补偿器主电路图。本文的 DSTATCOM 专指采用自换相的电压型桥式电路作为主电路的动态无功补偿装置。

DSTATCOM 控制策略根据补偿器要实现的功能和应用场合选择, 控制策略包括开环控制、闭环控制和两者相结合的控制策略。根据控制理论的基本原理, 要得到稳定的电压, 必须引入电压负反馈, 通过装置电压 U 和装置电压参考值 U_{ref} 的比较, 由其偏差来控制装置的运行。因此 DSTATCOM 控制系统一般采用直流侧电压的外

.....

(接上页)

析系统研究[J].应用光学, 2004, 25(1): 43- 45.

[2] 尤育赛, 于慧敏, 刘圆圆.基于粒度测量的重叠圆形颗粒图像分离方法[J].浙江大学学报(工学版), 2005, 39(7): 962- 966.

[3] TMS320VC5416 Fixed- Point Digital Signal Processor Data Manual, SPRS095O[J].Texas Instruments, 2005, 1.

[4] 清源科技.TMS320C54X DSP 硬件开发教程[M].北京: 机械

工业出版社, 2003.

[5] 潘松, 黄继业.EDA 技术实用教程[M].北京: 科学出版社, 2002.

[6] OTSU N.A threshold selection method from gray-level histogram[J].IEEE Trans, 1979, SMC- 15: 652- 655.

[7] 陈忠碧, 张启衡.一种适合于多目标检测的图像分割方法[J].光电工程, 2004, 31(5): 34- 37.

(收稿日期: 2007- 07- 11)