基于DSP和FPGA技术的细胞图像采集系统设计

樊尚春 周 游 刘长庭 王俊峰

(北京航空航天大学 仪器科学与光电工程学院，北京 100191) (北京解放军总医院 呼吸科，北京 100853)

摘 要：细胞学研究领域中需要对大量细胞的生长情况进行长期的在线跟踪、记录和分析，针对细胞图像采集和处理中的数据量大、采样频率高、运算复杂等问题，设计了一种新颖的细胞图像采集系统，讨论了DSP(Digital Signal Processor)处理系统和FPGA(Field Programmable Gate Arrays)逻辑控制系统设计中的关键技术问题，以及JPEG图像压缩算法的实现问题. 系统主要由视频解码芯片、FPGA以及DSP等组成，具有功能集成、结构简单、编程灵活的特点，能够实现对大量细胞进行长期观测记录的图像采集，以及后期图像数据处理的功能.

关 键 词：图像处理；数字信号处理；现场可编程门阵列

中图分类号：TP 391.41

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2008)06-0707-04

Design of cell image acquisition system based on DSP and FPGA technology

Fan Shangchun Zhou You

(School of Instrument Science and Opto-electronics Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Liu Changting Wang Junfeng

(The General Hospital of PLA, Beijing 100853, China)

Abstract: It is a problem to trace and record the growth of the large number of cells manually for a long time. Aiming at the mass data, high sampling frequency, complex caculation and other problems in cell image transmission, a novel method of video image acquisition is described. The key problems in the design of DSP (digital signal processors) system and FPGA (field programmable gate arrays) logic control system and the implementation of JPEG image compression algorithm are also discussed. The system basically consisted of enhanced video input processor, FPGA, DSP and other components. It is favorable for its integrated functions, simple structures and flexible complier. It provides a solution for the image acquisition of long time tracing and recording lagre number of cells, and also has the function of after image processing.

Key words: image processing; digital signal processing; field programmable gate arrays

现代生命科学的许多研究都是在细胞和分子水平上进行的. 其中大量的工作需要以活细胞作为研究对象，对它们进行长期的观察和高精度的定量测量与分析. 研究人员长时间在显微镜下观测会产生自适应现象，即会忽视异常现象，造成判断错误[1]. 细胞显微图像分析系统的研制解决了这一问题，而其中图像数据的采集速度、图像数据的处理速度以及图像数据的存储容量等都是关键技术，DSP(Digital Signal Processor)的特殊结构和性能很好地满足了系统实现的需要，而FPGA(Field Programmable Gate Arrays)的高速性和灵活性也满足了系统实时性和稳定性的需要.

收稿日期：2007-06-14

作者简介：樊尚春(1962—)，男，内蒙古包头人，教授，shangcfan@buaa.edu.cn.

本文针对细胞图像采集和处理中的数据量大、采样频率高、运算复杂等问题，设计了一种新颖的细胞图像采集系统，以标准的NTSC/PAL制式的彩色/黑白复合视频信号为输入，以视频解码芯片、DSP和FPGA为系统的硬件平台，视频解码芯片将模拟视频信号转换成数字信号；DSP实现算法、管理系统运行，并实现系统的自启动；FPGA实现一些接口、时序控制等，可以简化外围电路，提高系统的可靠性.

1 系统介绍

系统采用集成的视频解码芯片以及DSP+FPGA的混合结构，具有功能集成、结构简单、编程灵活的特点[2]. DSP是图像处理运算的核心，而FPGA是系统逻辑控制的核心，FPGA在线可编程的特性可大大简化系统设计的复杂度. 系统总体结构见图1.

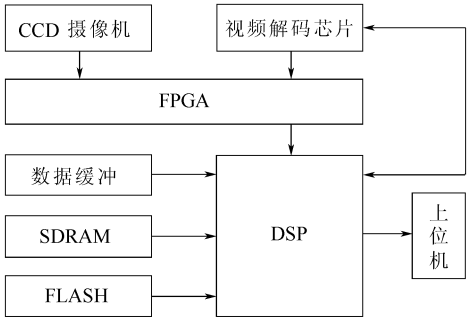


图1 系统总体结构图

系统各部分的功能以及芯片选型如下：

1) 视频解码芯片选用Philips公司的SAA7111A，将CCD摄像头输出的NTSC/PAL制式的复合模拟视频信号转换为YUV422格式的数字图像信号，同时输出从模拟视频信号中分离出的同步信号和由芯片内部的时钟发生器产生的像素时钟；

2) FPGA选用Altera公司的ACEX1K系列器件EP1K50QC208-3，采用VHDL语言设计并实现视频输入处理的逻辑控制和图像数据缓冲的控制，同时也可在其中实现图像的预处理，从而减少DSP的工作量；

3) 数据缓冲部分选用ISSI公司的SRAM芯片IS61LV51216实现，此款SRAM的存储空间为8 Mbit，存取速度最慢为12 ns，满足系统的要求；

4) DSP选用TI公司的TMS320C6713BGDP225，外扩一片AMD公司的FLASH ROM程序存储器AM29LV160DB-70EC及一片Micron公司的SDRAM数据存储器MT48LC8M32B2TG-6，负责数字图像数据的处理，并选用Maxim公司的MAX3111E实现UART接口负责处理结果的输出.

2 系统设计

2.1 系统硬件设计

硬件设计是整个数字视频图像处理系统设计的基础，对充分发挥DSP软件的特长、使系统的性能达到最优至关重要. 对于本系统的设计而言，其硬件系统设计的重要性主要体现在，系统应能快速、大数据量地采集和处理视频图像数据，因此在硬件设计过程中需结构设计合理，还得考虑高速电路设计问题[3].

2.1.1 视频解码电路

模拟视频摄像头采集的信号是模拟信号，并且视频信号中不仅包含图像信号，还包括了行同步信号、行消隐信号、场同步信号、场消隐信号以及槽脉冲信号、前均衡脉冲、后均衡脉冲等. 本系统采用Philips公司的可编程视频输入处理芯片SAA7111AHZ完成由CCD摄像机输出的模拟视频信号的数字化和向系统采集模块提供像素时钟及同步信号. SAA7111AHZ在上电后，并不是立即采集模拟视频信号进行A/D转换处理，它必须由DSP通过I^2C总线对其内部寄存器进行初始化设置后，才能正常工作. 为简化系统硬件电路设计，本系统采用了C6713自带的I^2C总线模块，而不是采用I^2C总线控制器.

2.1.2 FPGA逻辑控制电路

本系统中FPGA的逻辑设计主要包括：图像采集控制模块(ADDRWR)、中断管理模块(STARTTEMP)、分频电路模块(DIVFRE)、数据地址总线切换模块(SWITCH). 这几个模块间相互联系共同完成整个系统的逻辑控制. 当DSP发出采样指令时，采集控制模块在此后第一个奇数场同步信号到来时启动采样. 首先在奇数场的行有效信号时对像素时钟进行计数，每行计数范围可根据图像大小确定. 当一行有效信号计数完毕之后等待下一行有效信号，直到一场采集完毕. 整个逻辑控制模块仿真结果如图2所示.

2.1.3 DSP及其控制电路

本系统共有1.2 V，2.5 V和3.3 V 3套电源，分别作为DSP核电源、FPGA核电源、DSP和FPGA的I/O电源及系统中其他芯片的供电电源. 基于线性电源使用方便、芯片所需外围电路少、输出电流大、价格便宜等特点，本系统选用

Linear 公司的 LDO 线性电源芯片 LT1585ACT-3.3,LT1963AEQ-2.5 和 LT1764AEQ 来实现系统的电源需求,并通过 Maxim 公司的电源监控芯片 MAX6719UTTGD3 对 3 套电源同时进行监控.本系统采用 25 MHz 的晶振作为时钟输入源,通过 PLL 的倍频和分频,为 DSP 系统时钟提供 200 MHz的频率,为 EMIF 提供 100 MHz 的频率.DSP 通过其内部的 EMIF 与 SRAM,SDRAM 和 FLASH 存储器进行接口,SRAM,SDRAM 和 FLASH 存储器共享 EMIF 的数据线和地址线(根据存储空间大小的不同使用不同数目的地址线),通过片选信号线 #CE[3:0]决定访问哪个器件的存储空间.其中,FLASH 存储器作为 DSP 程序引导使用,必须位于 EMIF 的 #CE1 空间;SRAM 和 SDRAM 分别位于 EMIF 的 #CE0 和 #CE2 空间.

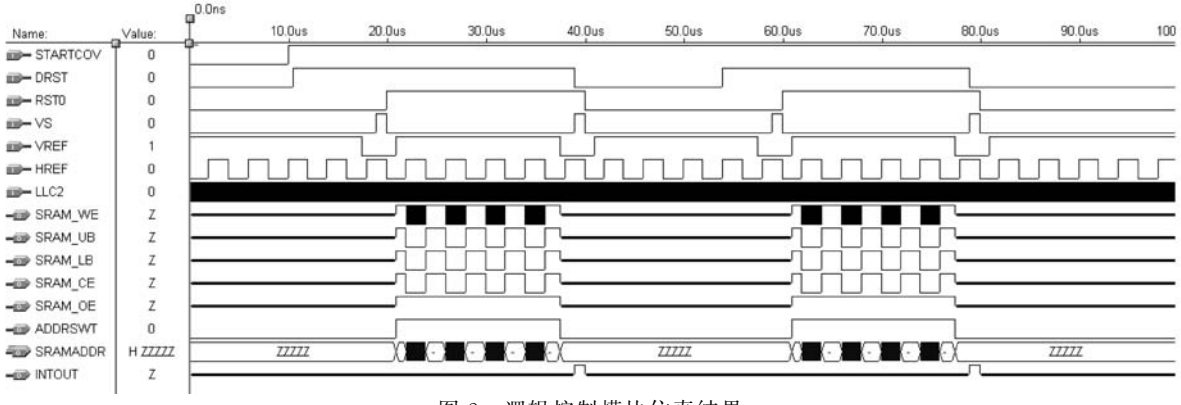


图 2　逻辑控制模块仿真结果

2.2　系统软件设计

完善的软件设计是发挥硬件资源潜能,最终达到系统指标不可或缺的必要条件.C6000 系列 DSP 的开发环境 CCS6000 所带的 C/C++ 编译器较之其他系列 DSP 的相应编译器无论是在编译效率、代码优化方面都有很大提高[4].同时 C6000 系列 DSP 高速处理能力及其出色的对外接口能力,使其在大运算量、复杂软件处理情况下还能保持良好的实时性.基于上述特点,本系统的初始化程序、软件处理算法、中断程序、DSP 引导程序等均可以采用 C 语言实现.

系统工作流程图如图 3 所示.整个系统软件按功能模块可分为系统初始化程序、中断服务程序、图像处理算法、DSP 程序引导加载等模块.系统上电后先进行初始化,DSP 通过 16 位并行引导方式从外部 FLASH 中将程序引导入片内程序存储器,并开始运行程序.利用 DSP 的 I^2C 总线接口模块,将控制字写入视频解码芯片的寄存器,设置其工作模式.DSP 发送开始采样指令,FPGA 利用视频解码芯片的相关信号对行、列进行计数,送出符合要求分辨率的图像信号,并分配地址存储在 SRAM 中,当一帧图像采集完毕后,FPGA 产生外部中断信号触发 EDMA 操作,将存储于 SRAM 中的图像数据拷贝至 SDRAM 等待 DSP 处理,写完一帧图像后发中断信号通知 DSP 读取,DSP 执行中断服务程序从 SDRAM 中将一帧图像读入,根据图像处理算法进行相应的处理,处理结果通过主机接口输出到主机.

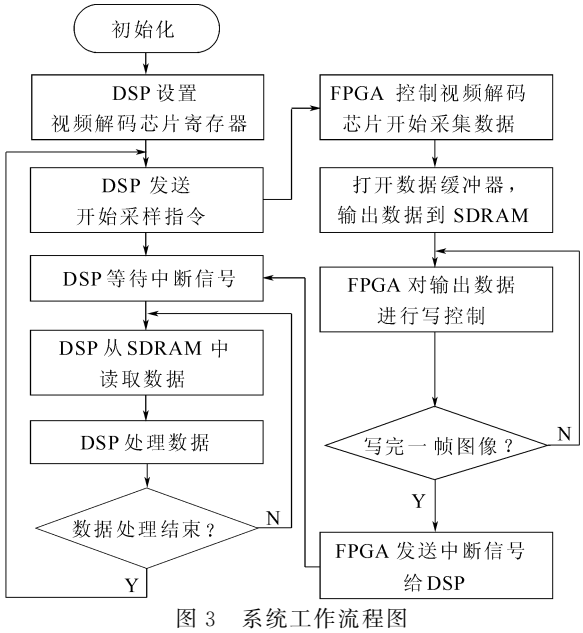


图 3　系统工作流程图

细胞学研究需要很长时间的连续观测,相应图像数据量极大,为降低对数据传输带宽及存储器容量的要求,可对图像数据进行适当压缩.由于细胞生长过程较缓慢,问题可简化为静态图像的压缩,系统采用 JPEG 压缩算法[5].JPEG 算法是一种有损压缩算法,处理的彩色图像是单独的彩色分量图像.因此,系统采用分量编码,即以 YUV 信号作为编码对象,其中 Y 为亮度,而 U 和 V 是 2 个色差信号.JPEG 压缩编码算法框图

如图4所示.图中的输入端为源图像数据,分成8×8像素方块数据后才能输入正向离散余弦变换(FDCT).量化器所需要的专用数据表由下方输入,熵编码器所需要的专用数据表也由下方输入.量化器所需要输出的压缩图像数据可以寄存,也可以直接送到解码器中.

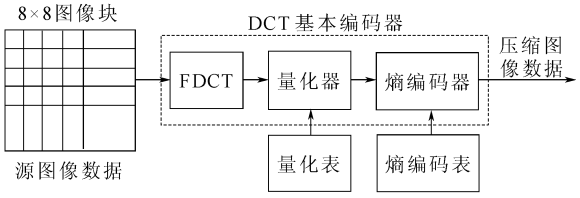
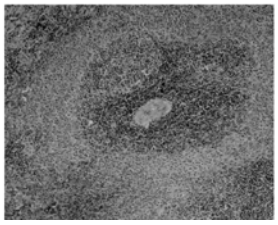


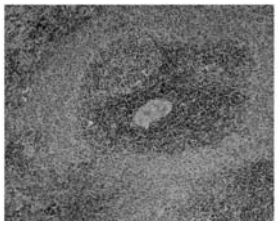
图4 JPEG压缩编码算法框图

3 实验结果

为了验证该细胞图像采集系统的功能,将其连接到奥林巴斯CKX-41倒置相差显微镜,在400倍放大倍数下,采集到的正常大鼠脾组织切片原始图像和压缩图像,如图5,压缩比为26.2,峰值信噪比为35.7.一般来说,峰值信噪比值大于30表明与原始图像的失真在可接受的范围内[6].不同质量系数下的实验结果见表1,实验结果表明,该系统可以实现对细胞图像的采集和压缩.



a 原始图像



b 压缩图像

图5 大鼠脾组织切片图像

表1 不同质量系数下的实验结果

质量系数	峰值信噪比	压缩比
65	34.2	31.2
75	35.7	26.2
85	36.6	18.3
95	37.9	9.0

4 结 论

本文所设计的细胞图像采集系统功能集成,结构简单,编程灵活,能够实现对大量细胞进行长期观测记录的图像采集,以及后期图像数据处理的功能.系统的特点可以概括如下:

1) 标准的NTSC/PAL制式的彩色/黑白复合视频信号输入,可编程调节视频信号的色度、亮度、饱和度和对比度等参数;

2) 采用DSP作为主要处理器,FPGA作为采集控制器,在实现复杂的系统功能的同时又使板级调试与系统功能升级变得方便;

3) 图像采集独立进行,DSP除了对采集模式进行设定外,不参与采集过程,节省了DSP的宝贵时间,实时性好;

4) 采用JPEG压缩算法,可以降低对数据传输带宽和存储器容量的要求,提高传输速率.

参考文献(References)

[1] Bransky A, Korin N, Nemirovski Y, et al. An automated cell analysis sensing system based on a microfabricated rheoscope for the study of red blood cells physiology[J]. Biosensors and Bioelectornics, 2006, 22(2):165-169

[2] Schaefer A W, Reynolds J J, Marks D L, et al. Real-time digital signal processing-based optical coherence tomography and Doppler optical coherence tomography[J]. IEEE Trans Biomedical Engineering, 2004, 51(1):186-190

[3] Timar G, Rekeczky C. A real-time multitarget tracking system with robust multichannel CNN-UM algorithms[J]. IEEE Trans Circuits and Systems, 2005, 52(7):1358-1371

[4] Rongen H, Hadamschek V, Schiek M. Real time data acquisition and online signal processing for magnetoencephalography[J]. IEEE Trans Nuclear Science, 2006, 53(3):704-708

[5] Chandler D M, Hemanmi S S. Dynamic contrast-based quantization for lossy wavelet image compression[J]. IEEE Trans Image Processing, 2005, 14(4):397-410

[6] Robinson J A. Adaptive prediction trees for image compression[J]. IEEE Trans Image Processing, 2006, 15(8):2131-2145

(责任编辑:赵海容)