

基于 TMS320C6748 的暗场图像实时处理系统

刘国华^{1,2}, 鲁楷滨^{1,2}, 杜 谦^{1,2}, 肖靖楠^{1,2}

(1 南开大学 电子信息与光学工程学院, 天津 300350;

2 南开大学 光电传感器与传感网络技术重点实验室, 天津 300350)

摘 要: 以浮点型 DSP(TMS320C6748)处理器为核心,设计了一种暗场图像实时处理系统,探讨了系统的原理和 design 方法,给出了系统的实现方案,并进行了金纳米球暗场图像的采集与分析实验.系统通过步进电机控制暗场系统分光光栅转动,匹配暗场图像的连续采集;同时,通过 CMOS 摄像头完成图像采集,并由 DSP 进行图像处理,得到待测样品散射光谱图.实验表明,金纳米球散射的实测与理论光谱特性基本吻合,检测精度达到了预期要求.该图像处理系统实现了对暗场图像的实时处理,在肿瘤早期诊疗、重金属检测、生化实时检测等领域具有重要的应用价值.

关键词: DSP(TMS320C6748); 实时处理; 暗场图像; 散射光谱

中图分类号: TP212.3

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2018)08—0128—04

Dark Field Image Real Time Processing System Based on TMS320C6748

LIU Guo-hua^{1,2}, LU Kai-bin^{1,2}, DU Qian^{1,2}, XIAO Jing-nan^{1,2}

(1 College of Electronic Information Technology and Optical Engineering, Nankai University,

Tianjin 300350, China; 2 Tianjin Key Laboratory of Optoelectronic Sensor and Sensing Network Technology,

Nankai University, Tianjin 300350, China)

Abstract: Based on floating point DSP (TMS320C6748) processor, we design a dark field image processing system in real time, with discussing the theory and the design method and providing the implementation of the system. On this basis, we make experiments of dark field images acquisition and analysis on gold nanospheres. Stepper motor controls the optical grating rotation of dark field, matching the successive acquisition of dark-field images; Simultaneously, CMOS camera acquires the images, which to be processed by DSP, and then we get the scattering spectra of sample. The experiments show that scattering spectra of gold nanospheres consists with the actual spectral properties of gold nanospheres and the functions and properties of the system reach the expectations. The image processing system accomplishes the real-time processing feature of dark field image, which has great application value on detection of early Tumor, heavy metals, chemical and biological and other fields.

Key words: DSP (TMS320C6748); real time processing; dark field image; scattering spectra

1 引言

传统的数字图像处理通常采用采集卡进行图像采集,将采集到的图像传输至 PC 机进行处理,其实时性受到较大程度限制^[1].随着信息技术的发展,实

时图像处理系统已被广泛应用于科研和生产的各个领域,高性能的 DSP 处理器也为实时图像处理系统提供了基础.本文以实验室原有暗场成像系统为基础,设计了基于浮点型 DSP(TMS320C6748)与 CMOS 摄像头的暗场图像处理子系统.

本系统结合暗场成像系统进行设计.暗场成像技术因其明显的技术特征,在生物、化学、医学以及环境等检测领域具有广阔的应用前景,可实现微纳尺度的单粒子检测^[2],在近年来成为研究热点.传统暗场成像技术在图像处理的实时性方面存在较大限制,本系统基于实验室原有暗场系统,设计了一种实时的暗场图像处理子系统,此系统具有高速实时检测的能力,降低了成本,提升了检测精度,也使原暗场成像系统具有了小型化和便携化的可能,提升了复杂环境下实地检测的能力,对暗场检测系统的推广应用具有重要意义.

本文将从系统总体设计原理、系统硬件结构、系统软件设计、实验结果与分析四个方面进行论述.

2 系统总体设计方案

系统总体原理框图如图 1 所示. DSP 图像处理系统及其外围设备构成了整个系统的核心. DSP 系统通过控制步进电机,控制暗场系统的分光光栅的转动角度,从而使得暗场系统选择不同波长的入射光进行暗场成像;彩色 CMOS 摄像头固定在暗场系统图像采集窗口,通过 DSP 系统的控制进行暗场图像的采集,并将图像数据传输至 DSP 系统存储器;图像数据经过系统预先配置好的一系列图像处理算法处理,得到所需要的暗场图像数据;最后将处理好的图像数据传输至上位机软件进行光谱图绘制,最终得到待测样品的实时散射光谱图. 本系统是一个实时性图像处理系统,图像的采集、处理、传输可进行流水线操作,系统工作效率高,实时处理性能好,较大幅度地提高了传统暗场系统图像分析的效率.

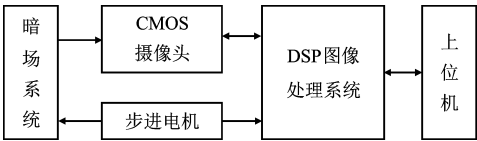


图 1 系统原理框图

3 系统硬件结构设计

TMS320C6748 是 TI 公司生产的高性能浮点型数字信号处理器.本系统的硬件结构如图 2 所示,主要围绕 TMS320C6748 子系统及其提供的外围接口进行扩展搭建.主要包括增强型高精度脉宽调制器模块(eHRPWM)、通用异步接收发送接口(UART)、视频端口接口(VPIF)、随机存取存储器 SDRAM (DDR2)、只读存储器 ROM (NAND

FLASH)等外围电路及接口.其中,eHRPWM 模块生成高精度数字脉冲,可通过设置脉冲的占空比、频率等参数实现对步进电机的精确控制;UART 接口可实现上位机对图像处理系统的控制以及系统与上位机之间的数据传输.

VPIF 接口可连接 OV2640 摄像头,实现对暗场图像的采集.OV2640 是大小为 1/4 英寸的 200 万像素视频传感器,OV2640 利用许多高级工艺和先进的 OmniPixel2 架构,包括更有活力的颜色和 zero-gap 微透镜结构,增加填充因数以及量子,形成一个 2.2 微米小而高敏感度的像素,很好的改善了显示效率和显示效果.其分辨率可高达 1 600 × 1 200,同时支持 320 × 240、640 × 480、800 × 600 等分辨率.可通过编程对 OV2640 摄像头参数进行设置,采集较为理想的暗场图像.本系统初步采用 640 × 480 分辨率,在保证图像较高质量的同时,提高系统运行效率^[3].

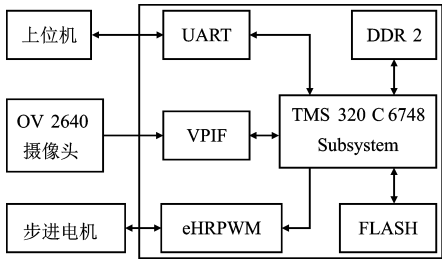


图 2 DSP 系统结构设计框图

由于 TMS320C6748 片内存储器容量有限,不能满足实时图像处理需求,所以本系统通过外部存储器接口(EMIFA)对 RAM 及 ROM 进行了扩展^[4].TMS320C6748 的 EMIFA 具有很强的外设连接能力,其总线宽度为 32 位,数据吞吐量较快.其支持的器件包括同步动态 RAM,只读存储器 ROM 等器件.本系统 RAM 扩展采用 128M 的 DDR2 芯片,ROM 扩展采用 128M 的 NAND FLASH 芯片,提供了足够的空间进行图像的采集与处理.此外,系统还提供对增强型直接存储器 EDMA3 的支持,为图像数据的高速传输提供条件^[5].

4 系统软件设计

系统软件开发以 TI 公司的 CCS5.5 集成开发环境为开发平台,软件设计主要分为硬件驱动配置和图像处理算法编写,包括:步进电机驱动、暗场图像采集、图像处理算法等.

4.1 步进电机驱动

采用两相四线步进电机控制暗场系统,DSP 系

统通过 eHRPWM 模块以及 GPIO 接口控制驱动模块进而控制步进电机的运动状态.

DSP 系统需要给驱动模块配置使能信号 (EN)、方向信号(DIR)、脉冲信号(PUL)等.

使能信号与方向信号由 GPIO 口配置,配置函数为 GPIOPinWrite(unsigned int baseAdd, unsigned int pinNum, unsigned int bitVal),其中参数 baseAdd 为待配置模块(GPIO)基地址, pinNum 为待配置 IO 口引脚编号, bitVal 为待配置 IO 口的状态值. 将相应 GPIO 口电平置高或置低,可改变步进电机使能状态及转动方向.

脉冲信号由 eHRPWM 模块配,置配置函数为 eHRPWMConfig(unsigned int baseAdd, unsigned int Duty, unsigned int Freq),其中参数 BaseAdd 为待配置模块(eHRPWM)基地址, Duty 为脉冲占空比, Freq 为脉冲频率. 可根据需求对脉冲占空比、频率进行配置,使得步进电机运动状态精确稳定. 此外,设置 UART 与上位机通信,可通过上位机发送命令控制步进电机运动状态.

4.2 暗场图像采集

采用 VPIF 总线控制 OV2640 摄像头进行暗场图像采集,需要配置 OV2640 摄像头参数及 VPIF 总线参数,使得采集到的暗场图像符合实验要求.

通过函数 OV2640Init(void)对 OV2640 摄像头进行初始化,设置摄像头采集图像分辨率(640×480)、帧刷新频率(30 帧/秒)等参数. 通过函数 VPIFInit(void)对 VPIF 总线进行初始化,设置 VPIF 总线管脚复用、数据位宽度、捕获方式、存储模式等参数. 按上述配置进行调试可采集符合实验要求的暗场图像.

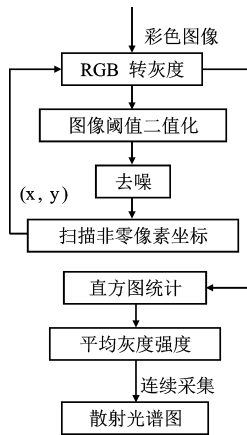


图3 算法流程图

4.3 图像处理算法

彩色暗场图像在 DSP 中经过预先加载的图像处理算法得到最终结果. 主要算法流程如图 3 所示: 具体处理过程如下^[6]:

- 1)彩色暗场图像先经过 RGB 转灰度图处理,得到暗场灰度图;
- 2)设置二值化阈值,将灰度图转换成二值化灰度图;
- 3)去除像素面积过大(>80)、像素面积过小(<20)以及处于图片边界上的粒子;
- 4)扫描灰度非零像素的粒子坐标(x, y),得到需要统计的粒子位置;
- 5)将灰度图中(x, y)位置的粒子进行直方图统计,进而求得每张暗场图像粒子的平均灰度强度;
- 6)处理多张图片后,可拟合得到粒子在暗场中的散射光谱图.

5 金纳米球暗场图像结果与分析

通过步进电机控制分光光栅转动角度,调整光栅出射光的波长,可对粒子暗场图像进行连续采样,得到粒子散射光谱图. 连续采样暗场图像如图 4 所示:

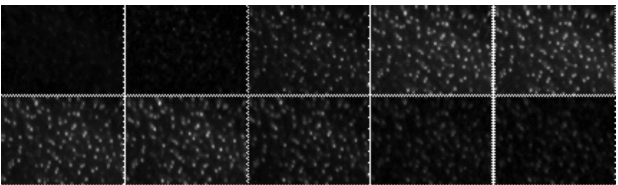


图4 金纳米球暗场图像连续采集图

对连续采样的暗场图像进行处理,得到实测平均灰度强度. 结合入射光波长以及标准化参数,可求得标准化灰度^[7]. 结果如表 1 所示:

表 1 暗场图像实测灰度与标准化灰度			
波长	标准化参数	实测灰度	标准化灰度
455.8	0.334 514	4.92	14.707 9
491.0	0.093 424	4.59	49.130 8
505.5	0.249 686	28.53	114.263 5
521.0	0.427 145	33.71	78.919 3
540.6	0.510 807	34.72	67.970 9
560.2	0.520 892	31.06	59.628 4
574.2	0.504 375	31.27	61.997 5
595.9	0.420 096	18.44	43.894 7
614.8	0.325 938	9.66	29.637 5
624.3	0.271 81	7.52	27.666 4

由表格数据拟合得粒子连续采样的散射光谱

图,结果如图 5 所示:

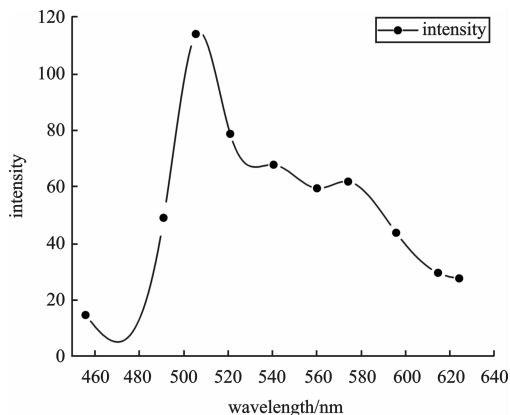


图 5 金纳米球粒子散射光谱图

结合表格数据及粒子散射光谱图分析可知,标准化后的粒子统计光谱在 510 nm 左右产生共振峰,与金纳米球(直径 80 nm)实际散射光谱基本吻合^[8],表明待测样品为金纳米球粒子。

6 结束语

图像处理系统的关键在于系统的一体化集成和功能的实现. 本文为暗场成像系统设计了一种实时图像处理子系统. 基于原有暗场系统,本系统较好地实现了暗场系统的实时图像处理需求. 结合 TMS320C6748 提供的硬件资源及接口,设计了以上各个功能模块. 并在各个功能模块的基础上设计了优越的驱动程序以及图像处理算法. 通过金纳米球粒子暗场图像的处理与分析结果可知,系统功能与性能满足了暗场图像实时处理的要求. 本系统尚有不足,有待改进. 彩色 CMOS 摄像头对暗场图像的采集使得粒子成像的清晰度降低,且敏捷度不足. 可改用黑白 CCD 对图像进行采集,其清晰度及敏捷度相较于彩色 CMOS 都有很大程度地提升^[9]. 总而言之,本系统是一个稳定工作的实时暗场图像采集与处理系统.

参考文献:

- [1] 雷玉堂. 现代摄像机 DSP 图像处理系统的设计[J]. 中国公共安全, 2009 (19): 146-151.
- [2] Van Dijk M A, Lippitz M, Orrit M. Far-field optical microscopy of singlemetal nanoparticles[J]. Accounts of Chemical Research, 2005, 38(7): 594-601.
- [3] Zhang B, Xue L, Qin S, et al. The Experiment and Analysis of Image Acquisition System Based on the Hardware Platform[C]// Proceedings of the 2015 International Conference on Communications, Signal Processing, and Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2016: 869-879.
- [4] 朱明, 鲁剑锋, 赵建, 等. 基于 TMS320C6202 DSP 的实时数字图像处理系统的设计[J]. 光学精密工程, 2003, 11(5): 497-501.
- [5] 汪安民. TMS320C674x DSP 应用开发[M]. 北京航空航天大学出版社, 2012.
- [6] 黄德天, 陈建华. DSP 图像处理的程序优化[J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2(5): 452-459.
- [7] Russ J C, Matey J R, Mallinckrodt A J, et al. The image processing handbook[J]. Computers in Physics, 1994, 8(2): 177-178.
- [8] 王健, 朱涛, 张续, 等. 表面增强拉曼散射强度与金纳米粒子粒径关系[J]. 物理化学学报, 1999, 15(15): 476-480.
- [9] Hain R, Kähler C J, Tropea C. Comparison of CCD, CMOS and intensified cameras[J]. Experiments in fluids, 2007, 42(3): 403-411.

作者简介:

- 刘国华 男, (1964-), 博士, 教授. 研究方向为生化传感器的设计. E-mail: liugh@nankai.edu.cn.
- 鲁楷滨 男, (1993-), 硕士研究生. 研究方向为生化传感器及其控制电路设计.
- 杜 谦 男, (1990-), 博士研究生. 研究方向为传感技术与智能系统设计.
- 肖靖楠 男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为生化传感器的软件设计.

(上接第 127 页)

- [11] M. Rodriguez, R. Buyya, Deadline based resource provisioning and scheduling algorithm for scientific workflows on Clouds[J], IEEE Transactions on Cloud Computing, 2014, 2(2): 222-235.

作者简介:

- 薛 凡 男, (1978-), 博士生, 讲师. 研究方向为智能计算、云计算. E-mail: xufam78@163.com.
- 吴志健 男, (1963-), 教授、博导. 研究方向为智能计算、智能信息处理.