

◀ 计算机应用 ▶

DSP/BIOS 环境下视频图像火焰检测算法实现*

周一君, 马 莉

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘 要:针对 DSP/BIOS 环境下在线视频图像火焰检测算法实现中存在的巨量数据运算和提高 CPU 利用率之间的矛盾,提出了以 TMS320DM642 为处理器的视频图像处理硬件系统构建,并在 DSP/BIOS 下设计了基于任务通信的实时视频图像火焰检测系统。此外,给出了基于颜色和火焰蔓延动态特性的检测规则,利用 Ping-pong 缓存技术实现了 EDMA 数据传输和 CPU 处理的并行操作,大大提高了 CPU 的利用率。试验结果表明,该算法不仅能有效地提取火焰区域,而且能使单帧图像的处理速度较无缓存技术和缓存技术分别提高 60 倍和 1.55 倍。

关键词:TMS320DM642; DSP/BIOS; 火焰检测; Ping-pong 缓存

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2009)12-0034-05

Implementation of video images flame detection under the DSP/BIOS

ZHOU Yi-jun, MA Li

(School of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the contradiction between huge data calculations and improving CPU utilization in flame detection of online video images under the DSP/BIOS, a hardware architecture based on TMS320DM642 processor for video image processing system was proposed. Moreover, a real-time video image flame detection system was further designed based on task communication of RF5 under DSP/BIOS environments. Furthermore, a detection rule was given, based on color and flame dynamic spreading features. The CPU utilization rate was greatly improved by using Ping-pong buffering for implementing parallel operation of EDMA data transfer and CPU image processing. The research results show that the algorithm could not only extract flame regions effectively, but also make the processing speed of a single frame reach 60 times and 1.55 times over conventional method using no cache and cache.

Key words: TMS320DM642; DSP/BIOS; flame detection; Ping-pong buffer

0 引 言

火灾的预警和自动检测是视频监控系统所关注的研究热点之一。传统的视频监控前端大多数仅进行简单的数据采集和传输,不具备视频图像的智能处理能力。通常视频图像数据传送到中心控制站,需要人工监控,使得设备投资成本高,且自动化程度低。美国德州仪器公司(TI)推出的 TMS320DM642 提供了实时采集视频图像并进行智能处理的开发平台,平台具有丰富的外围接口,极强的处理性能,高度的灵活性和可编程性。DSP/BIOS 是其提供的一个可裁剪的嵌入式操作系统,本身占用极少的 CPU 资源,可以大大简化

DSP 应用程序的开发和调试,提高了调试效率。与传统非面向任务的软件开发方法相比,它可利用 SCOM 通信模块完成多任务之间的消息传递,提高程序利用效率^[1-2];同时利用 Ping-pong 缓存技术动态分配内存,提高 CPU 的利用率,从而确保完成视频图像在线实时火焰检测。

本研究首先给出基于 DSP/BIOS 的火焰检测系统框架,提出在 TMS320DM642 开发平台上采用 DSP/BIOS 内核完成视频驱动配置及多任务间的通信;然后提出用 Ping-pong 缓存技术实现视频图像火焰检测^[3];最后给出试验分析结果。

收稿日期:2009-05-31

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60775016);浙江省重大科技专项资助项目(2007C13062)

作者简介:周一君(1985-),男,浙江金华人,主要从事嵌入式系统方面的研究。E-mail: xooxbood2009@163.com

通信联系人:马 莉,女,教授,硕士生导师。E-mail: mali@hdu.edu.cn

1 基于 DSP/BIOS 的火焰检测系统框架设计

DSP/BIOS 提供了抢占式多线程、硬件抽象、实时分析和配置工具等功能。使用 DSP/BIOS 对象编程,可以更合理地利用资源,加快运行速度。笔者提出的火焰检测系统以 TMS320DM642 为核心,系统硬件框图如图 1 所示。系统主要包括云台、CCD 摄像机、DM642 处理芯片、编/解码芯片、外围电路和液晶显示器等。DM642 通过 I²C 总线对视频编/解码芯片进行配置,通过 EMIF 总线实现外部存储器的扩展。CCD 摄像机采集的模拟视频信号经视频解码芯片 (TVP5150) 转换成数字视频信号,送到 DM642 进行处理 (图像压缩和火焰检测),然后将处理后的视频数据通过视频编码芯片 (SAA7121) 转换成 PAL 信号传送到显示器,以显示输出图像;同时,经过处理的数字信号通过以太网口或 RS232 串行口传送到远程 PC 机。此外,DM642 把云台控制信号通过通用异步收发器 UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) 口发送给云台,实现对云台的控制。DM642 支持 4 路视频输入,本系统 CCD 摄像机只用其中 1 路视频输入接口^[4]。

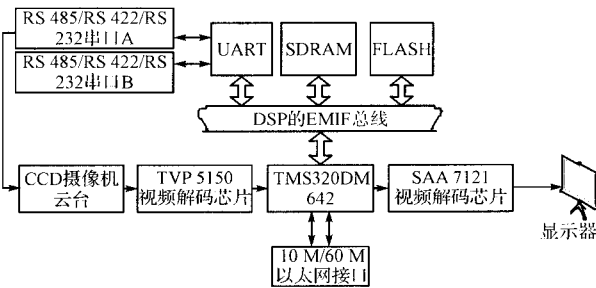


图 1 火焰检测算法系统硬件框图

2 DSP/BIOS 下火焰检测系统软件设计

本软件系统包含视频驱动、内存管理和火焰检测算法 3 个部分。视频驱动部分创建了 1 路采集通道和 1 路显示通道;内存管理部分实现了视频图像处理过程中 DSP 目标系统的存储器管理,引入 Ping-pong 缓存技术以提高 CPU 利用率。根据火焰的视觉特征,火焰检测算法能准确地提取图像中的火焰像素。火焰检测软件设计框图如图 2 所示。

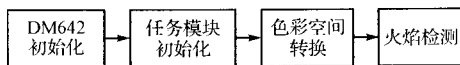


图 2 火焰检测软件设计框图

其中,任务模块初始化包括视频采集和显示驱动的配置、SCOM 模块初始化以及 Ping-pong 缓存的配置。色彩空间转换把摄像头采集到的 YUV 图像转换

成 RGB 图像,通过火焰检测处理以后,显示视频图像中的火焰区域。

2.1 视频驱动设置

DM642 视频图像火焰检测软件开发遵循 RF5 框架结构。在 RF5 软件结构中,设备驱动分为与硬件无关(类驱动)和与硬件相关(微驱动)的双层结构。微驱动采用芯片支持库 (CSL) 管理外围设备的寄存器、内存和中断。在类驱动中,视频接口驱动程序主要通过帧视频驱动程序 (FVID) 的设置来完成。本系统采用 1 路输入/输出,通过类驱动 API 函数 FVID_create 创建采集和显示通道的代码:

```
capChan = FVID_create( "/VPIACAPTURE/A/1", IOM_INPUT,
&status, (Ptr) &EVMDM642_vCapParamsChan, NULL); //创建采集通道
capChan = FVID_create( "/VP0DISPLAY/A/0", IOM_OUTPUT,
&status, (Ptr) &EVMDM642_vDISParamsChan, NULL); //创建显示通道
```

2.2 任务通信

本研究利用 DSP/BIOS 下的自动任务调度机制将视频图像处理划分为视频捕获、视频处理和视频显示 3 个并列优先级的任务模块 (依次为 TSKcapture; TSKprocess; TSKdisplay), 火焰检测算法加入视频处理 (TSKprocess) 模块中 (如图 3 所示)。首先, TSKcapture 采集原始图像并发送消息到 TSKprocess, 然后通过 TSKprocess 用火焰算法对原始图像数据进行处理并发送消息到 TSKdisplay。3 个任务之间的消息传递通过同步通信 SCOM (Synchronized COMMunication module) 模块来实现。另外,云台控制和主控通信模块分别负责对 CCD 云台巡航控制与远程控制中心的通信。本系统中定义了 4 个 SCOM 对象队列名: fromInputtoProcess、fromProcessToInput、fromProcessToOutput 和 fromOutputtoProcess, 分别存放各任务发送来的 SCOM 消息。云台控制模块 (CLK 线程) 周期性接收来自 TSKprocess 的结果和主控通信模块 (HWI 线程) 的信息。

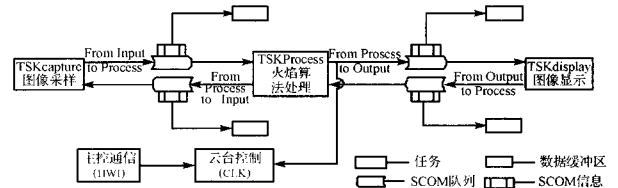


图 3 基于 SCOM 模块任务通信框图

2.3 基于 Ping-pong 缓存的图像处理

在线视频图像火焰检测中的巨量数据处理需要提高 CPU 的利用率,以提高数据处理的实时性。TMS320DM642 提供了 (L1 和 L2) 两级高速缓存。程

序运行时可以把需要进行火焰算法处理的图像数据放入 Cache 中以提高运行速度。为了进一步利用 Cache 资源,引入 Ping-pong 缓存技术,即在 CPU 处理数据的同时启动 EDMA 传输数据,以提高 CPU 处理效率。

2.3.1 Ping-pong 缓存技术

Ping-pong 缓存技术在数据接收端(使用 EDMA 的 McBSP)有 2 个逻辑缓冲器:接收 ping/pong 缓存。与传统缓冲区技术不同,Ping-pong(乒乓)缓存将待处理的数据分成多个数据组。当第一组数据进来时,EDMA 在数据放入 ping 缓存区的同时,CPU 从 pong 缓存区取数据进行处理;当 ping 缓存区放满时发出中断,Ping-pong 缓存区进行切换:EDMA 将下一组数据重定向到 pong 缓存区,而 CPU 从 ping 缓存区取数据处理。Ping-pong 缓存技术提供了 EDMA 数据传输和 CPU 数据处理的并行机制,大大提高了 CPU 的利用率(其原理如图 4 所示)。

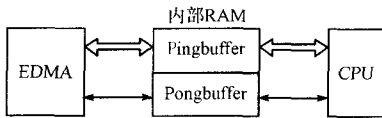


图 4 Ping-pong 缓存原理图

2.3.2 利用 EDMA 实现 Ping-pong 缓存的参数设置

EDMA 是 C621x/C671x/C64x 特有的增强的直接存储器访问方式,可以在没有 CPU 参与的情况下控制 DSP 存储空间的数据搬移。C64x 的 EDMA 具有 64 个相互独立的传输通道,每个通道均对应一个可触发传输的特定同步事件,通道的传输行为由对应的片上参数存储器(PaRAM)编程设定。Ping-pong 方式下 EDMA 通道有两个参数集、一个用于 ping 传入/出;另一个用于 pong 传入/出,当一个通道传输完毕,PaRAM 中的新参数集重新加载它们以启动下一次传输。

本系统中 Ping-pong 缓存下 EDMA 通道控制器的参数设置如图 5 所示。由图可知,一个通道包含 ping 和 pong 两个参数设置表(参数表共有 6 个字,第 6 个字的右半字对应 LINK 子段,指向下一次传输的通道参数表的首址)。每个通道的 Ping-pong 参数设置的选项、计数值以及索引值是相同的,不同的是连接地址和内部存储器的数据目的地址。除此之外,在 Ping-pong 缓存结构中,pong 参数集的 LINK 指向 ping 参数集的首址,而 ping 参数集的 LINK 指向 pong 参数集的首址,故实现了当 EDMA 通道每次传输结束后,ping/pong 缓存自动切换^[5-6]。

2.3.3 基于 Ping-pong 缓存的数据处理程序

在设置了用于 Ping-pong 缓存的参数集后,本系统

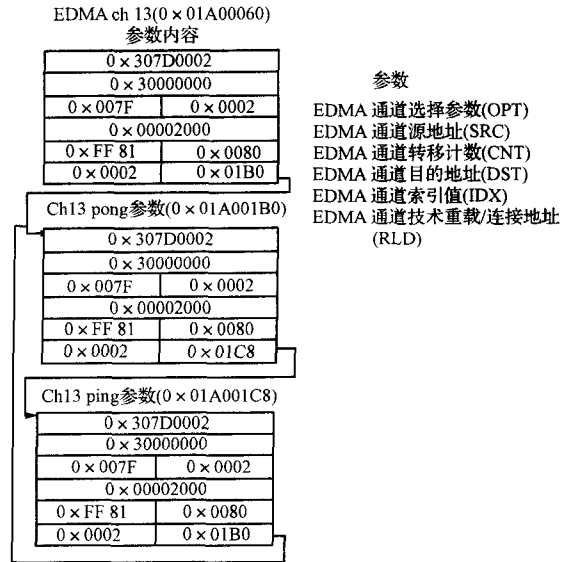


图 5 EDMA 通道参数设置实现 Ping-pong 缓存

设计了 Ping-pong 机制的数据处理程序。本研究 Ping-pong 缓存配置为 2 122 B(一帧图像的 1/288),L2 Cache 配置为 128 KB。在 L2 SRAM 中的 Ping-pong 缓存技术核心伪码如下:

```

for(i=0;i<(DATASIZE/BUFSIZE))-2;i+=2)
{
/* pingin -> pingout processing */
< DMA_transfer( peripheral, pongin, BUFSIZE ) >
//EDMA 传送数据到 pongin
< DMA_transfer( pongout, peripheral, BUFSIZE ) >
//EDMA 从 pongout 中读取数据
process ( pingin, pingout, BUFSIZE ); //cpu 处理 pingin 中的数
据,处理好以后送给 pingout
/* pongin -> pongout processing */
< DMA_transfer( peripheral, pingin, BUFSIZE ) >
//EDMA 传送数据到 pingin
< DMA_transfer( pingout, peripheral, BUFSIZE ) >
//EDMA 从 pingout 中读取数据
process ( pongin, pongout, BUFSIZE ); //cpu 处理 pongin 中的数
据,处理好以后送给 pongout
}

```

程序中 DATASIZE 为图像的像素个数(704 × 576),BUFSIZE 为 Ping-pong 缓存的大小。

2.4 火焰检测算法

燃料在适当条件下燃烧,呈现为一种气态现象—火焰。在火焰检测算法中,火焰的颜色是最重要的视觉特征。由于 RGB 颜色模型不能很好地反映人眼视觉感知,在大多数情况下,需要将 RGB 颜色模型转换为适合人的视觉的 HIS 模型。一般火焰的颜色呈现红—黄色,并且 R 通道为火焰的主要成分。综合考虑火焰在 RGB 空间的分布和光照对火焰颜色的影响,火焰像素点的判断规则为:

规则 1: $R > R_T$; 规则 2: $R \geq G \cap G > B$; 规则 3: $S \geq ((255 - R) \times S_T / R_T$

IF(规则 1) AND(规则 2) AND(规则 3) = TRUE; THEN fire pixel ELSE not fire pixel。通过大量的实验可知, $S_T \in [55, 65]$, $R_T \in [115, 135]$ 。

其中, R_T 是 R 通道的阈值, S_T 表示 R 值为 R_T 的像素的饱和度。规则 3 是针对光照变化情况下, 保证所提取出的火焰饱和度值足够大, 以排除假火焰。然而, 仅用颜色特征提取火焰是不充分的, 必须排除假火。产生假火的原因大致可以分为 2 类: ①与火具有相同颜色的物体; ②背景具有像火一样的光源(太阳的反色, 人造光)。可以利用火焰的动态特征(火的蔓延、可变形状和抖动等)去除假火区域。

本研究根据上述规则检测出火焰可疑区域, 然后通过差分技术来提取运动的区域, 最后根据该区域的持续增长特性来排除假火, 最终得到真正的火焰区域。

3 系统试验分析

本系统采用 SEED-VPM642 开发板、SEED-XDS560 仿真器、摄像头、液晶显示器和 PC 机(操作系统是 windows XP, 处理器是 AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor 4000+)。视频图像的格式为 D1 格式(704 × 576), 视频传输采用的颜色空间是 YUV, 其采样格式设置为 4:2:0。视频解码芯片 TVP5150 配置成 PAL 制式采集, 采样速度为 25 帧/秒。

整个试验分两个部分: 视频图像的火焰检测和观测 Ping-pong 缓冲技术对 CPU 利用率的影响。视频图像取自带有燃烧物的外景, 经过火焰检测算法处理以后(S_T 选 60, R_T 选 135), 所提取的火焰像素点的像素值设为 255, 背景像素设为 0(白色是火焰区域, 黑色是非火焰区域)。火焰检测试验结果如图 6 所示, 从中可看出, 本研究算法可以有效提取外景中的火焰区域。



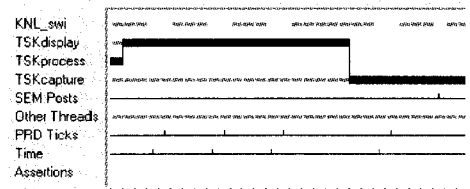
图 6 火焰检测试验结果

为了验证 Ping-pong 缓存技术的有效性, 本系统分别在不同的设置下(不使用 Cache, 不使用 Cache + Ping-pong 缓存, 使用 Cache 和 Cache + Ping-pong 缓存)运行具有不同复杂性的算法, 比较了单帧图像处理时所需要的时间。其结果如表 1 所示。

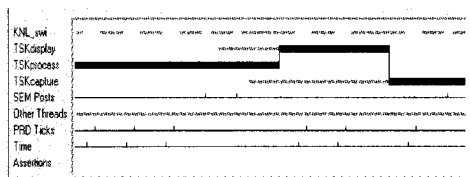
表 1 CPU 运行时间比较

图像处理函数	NO Cache /ms	NO Cache + Ping-pong /ms	Cache /ms	Cache + Ping-pong /ms
二值化	2 359.18	1 572.79	57.44	36.83
Sobel 边缘检测	2 389.72	1 593.15	59.68	38.12
火焰检测	2 402.09	1 602.39	61.15	39.35

由表 1 可知, 使用 Cache 资源较直接访问外存可以大大提高 CPU 图像处理速度, 图像处理算法对 CPU 处理速度影响不大; 在未使用 Cache 和使用 Cache 情况下, 应用 Ping-pong 缓存技术比无 Ping-pong 缓存的单帧图像处理速度分别提高了 1.5 倍和 1.55 倍; 另外, Cache + Ping-pong 较无缓存技术速度提高了约 60 倍。帧图像处理速度小于 40 ms, 达到在线实时火焰检测的要求。任务执行的时序图如图 7 所示。可以看出, 在未使用 Ping-pong 缓存技术时, TSKprocess 线程执行时间短(如图 7(a)所示, 这是因为 CPU 在等待 EDMA 数据传输时让位于其他线程); 而加入 Ping-pong 缓存后 CPU 可以借助两个缓冲器的转换持续工作, 故 TSKprocess 线程远远高于未使用 Ping-pong 缓存技术(如图 7(b)所示), 提高了 CPU 的利用效率。



(a) 未使用Ping-pong的任务时序图



(b) 使用Ping-pong的任务时序图

图 7 任务模块时序图

4 结束语

在基于 TMS320DM642 的开发平台上, 本研究根据在线火焰检测的需求提出了视频图像火焰检测系统的硬件结构, 以及在 DSP/BIOS 环境下利用 SCOM 的多任务间通信的系统软件设计, 实现了视频图像火焰检测。通过对 EDMA 通道参数集的设置和软件编程, 实现了基于 Ping-pong 缓存机制的在线实时火焰检测, 提高了 CPU 利用率。

(下转第 61 页)

框,设置录制脚本的名称等信息。点击‘Start’按钮将激活模拟用户面板。

(3) 激活操作用户面板后,自动测试工具的捕获进程开始监测串口并准备好记录信息。信息交给脚本生成器产生测试脚本。

(4) 使用‘Select’选择测试脚本。点击‘Replay’回放测试脚本,进行重复测试。

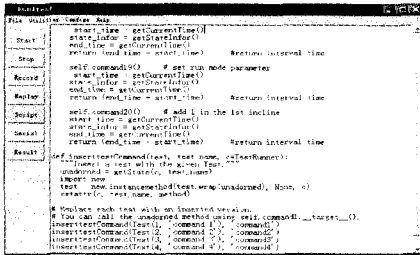


图 7 自动测试工具界面

执行测试脚本后得到的测试信息及测试结果如图 8 所示,测试信息包括:发送的命令、封装帧及对应产品的按键等;测试结果包括:测试结果是否成功、测试的覆盖率、测试时间等。

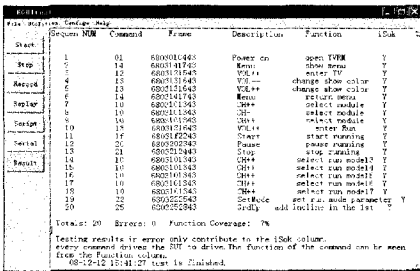


图 8 测试结果

从测试结果可知,目前该自动测试工具主要应用于嵌入式软件中的功能测试并提供功能测试覆盖率,根据录制的测试用例脚本进行回放,比如:电视机的音量和换台控制,跑步机的控制等。

功能测试分为原子功能测试和组合功能测试,因此可得出测试覆盖率的定义:

$$\text{测试覆盖率} = \text{测试功能数} / \text{总测试功能数}$$

5 结束语

本研究结合软件测试理论和仿真测试原理,提出了主机加目标机的仿真结构,把 RR 技术应用于嵌入式软件的回归测试中,并在 PC 机上实现 RR 工具,通过录制回放测试脚本实现嵌入式软件的自动化测试,提高了测试效率。该自动化测试工具已应用到跑步机的回归测试中,并在保证软件质量方面发挥了重要作用。然而,接下来的工作是进一步完善自动测试工具,以满足多种测试种类的需要。

参考文献 (References):

[1] TSAI W T, NA Y, PAUL R. Adaptive Scenario-based Object-oriented Test Frameworks for Testing Embedded Systems [C]//Proceedings of 26th Annual International on Computer Software and Applications,2002;321 - 326.

[2] 马雪英,姚 砺.回归测试自动化工具研究[J].计算机科学,2005,32(3):162 - 165.

[3] 应 杭.软件自动化测试技术及应用研究[D].杭州:浙江大学计算机科学与技术学院,2006:12 - 33.

[4] 卢彩林,丁刚毅.嵌入式软件全数字仿真测试环境设计[J].计算机仿真,2007,24(1):295 - 297.

[5] 王 陈,左雪梅.实时嵌入式系统平台自动测试工具[J].计算机应用,2003(22):339 - 340.

[6] 王晶晶,黄克强.基于 USB 总线的 FPGA 主控多功能测试系统[J].机电工程,2007,24(3):71 - 73.

[7] 赵斌飞,刘 磊.测试脚本自动生成器的设计与实现[J].计算机科学,2008,35(6):276 - 279.

[编辑:李 辉]

(上接第 37 页)

参考文献 (References):

[1] 何 伟,陈 彬,张 玲. DSP/BIOS 在基于 DM642 的视频图像处理中的应用[J].信息与电子工程,2006,14(1):60 - 62.

[2] 李 伟,于凤梅,周丽萍,等.基于 DSP/BIOS 的双光谱图像融合系统软件设计[J].仲恺农业技术学院学报,2008,21(2):36 - 39.

[3] CHEN Thou-ho, KAO Cheng-liang, CHANG Sju-ma. An Intelligent Real-Time Fire-Detection Method Based on Video Processing[C]//Proceeding of IEEE 37th Annual 2003 in-

ternational Carnahan Conference on Security Technology, Taiwan,2003:104 - 111.

[4] 齐剑玲,翟晓桦,冉红霞,等.基于 DM642 视频采集系统的设计[J].吉林大学学报,2008,26(4):434 - 437.

[5] 严云洋,高尚兵,郭志波,等.基于视频图像的火灾自动检测[J].计算机应用研究,2008,25(4):1075 - 1078.

[6] Texas Instruments . TMS320C6000 DSP Enhanced Direct Memory Access (EDMA) Controller Reference Guide,SP-RU234[M]. Texas Instruments,2009.

[编辑:李 辉]