

文章编号:1007-2780(2009)06-0860-06

多媒体协处理器 SM501 在全彩 LED 显示屏脱机播放系统的应用

丁铁夫¹, 陈 伟^{1,2}, 郑喜凤¹, 苑 振^{1,2}

(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, E-mail: beelike@126.com;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘 要: 设计了一种基于嵌入式系统的全彩 LED 显示屏脱机播放系统, 可支持高分辨率全彩 LED 显示屏的脱机播放。针对典型嵌入式系统在显示性能方面的瓶颈, 提出了使用多媒体协处理器 SM501 增强显示性能的嵌入式系统方案, 在软件上设计了 SM501 硬件加速底层显示接口以提高显示性能, 并利用 SM501 提供的显示加速功能优化了视频播放。该系统较好地解决了目前国内 LED 显示屏脱机控制卡局限于支持单色或者伪彩 LED, 分辨率低、不能播放高质量视频的现状。

关 键 词: SM501; LED 脱机播放; S3C2440; Xvid
中图分类号: TP333.8 **文献标识码:** A

1 引 言

现在, 国内全彩型 LED 显示屏的播放控制系统主要采用联机方式来实现, 即 PC 机 + 视频发送板, 通过千兆以太网或者光纤, 将视频实时发送到 LED 显示屏端的视频接收板上完成显示^[1]。对于超长距离的户外 LED 显示屏而言, 高速视频实时传输需要付出高昂的代价。脱机方式在这些场合则显示出其独特的优势, 具有无人值守、专用性强、占用资源少、体积小、功耗低等优点, 特别适合于广告屏和交通诱导屏等方面的应用。目前国内的脱机控制系统主要由单片机、DSP、RISC 处理器等实现, 大多应用于单色、双基色及伪彩 LED 屏幕, 只能显示文字、图片和简单动画, 已经不能满足全彩 LED 屏幕的脱机播放需求。使用嵌入式系统是实现高分辨率视频播放脱机系统的有效途径, 但在显示性能上也存在分辨率低、颜色表现能力差的缺点。

本文采用多媒体协处理器 SM501 和 S3C2440 组成硬件平台, 解决了普通嵌入式系统在显示性能上分辨率低、颜色表现能力差的缺点。测试结果表明, 使用 SM501 作为显示协处理器极

大地提高了小型嵌入式系统的显示能力, 完全胜任高分辨率全彩 LED 显示屏的脱机显示, 并且对其他需要高性能视频显示的嵌入式系统的设计也提供了参考。

2 典型嵌入式系统的显示系统和显示性能分析

目前国内 LED 屏脱机控制系统多采用高性能 RISC 处理器作为核心, 典型的以 ARM9 为核心的 MCU 芯片核心频率能达到 200~600 MHz。这些芯片面向的主要是低端智能设备, 显示性能较低^[2]。典型的 MCU, 如 S3C24X0, 通过内部集成 LCD 控制器来提供显示功能, 最高仅支持到 640×480 的显示分辨率, 16 bit/像素的颜色深度。处理器芯片内置的 LCD 控制器是在系统内存中设置一小部分作为帧存(Frame Buffer), LCD 控制器使用一个专用的高速 DMA 通道不断地读取帧存中的像素数据到 LCD 控制器的 FIFO Memory 中, 最后生成视频时序输出到外部 LCD 接口。这种内嵌 LCD 控制器存在两个方面的性能瓶颈^[3]。

一方面, 由于显存共享系统内存, 视频刷新显

示直接占用系统总线带宽。支持更高的分辨率和色彩深度意味着占用更多的系统带宽,比如 1 024×768 分辨率下,24 bit 颜色深度,60 Hz 场频的视频输出,刷新显示占用的系统带宽在 1.1 Gbit/s 以上。小型嵌入式系统有限的总线带宽显然不可能很好地支持高分辨率全彩显示。

另一方面,内置 LCD 驱动在实现一般的 2D 图形操作,如像素复制、缩放、颜色空间转换时需要由软件算法实现,处理器对 Frame Buffer 的频繁操作带来的系统性能下降十分突出,极大地影响了 CPU 在视频解码方面的效率,即使是高达 400 MHz 主频的 S3C2440 解码 320×240 的 MPEG-4 格式的视频也仅能达到 15~20 帧/s。如果需要较大幅度的缩放显示,视频更是十分不流畅,无法观看。

3 全彩 LED 屏脱机播放系统的硬件设计

鉴于上述分析,普通嵌入式体系结构在大型 LED 全彩屏幕的脱机显示方面存在 3 个严重缺点:

- (1)支持的分辨率低;
- (2)颜色表现能力差;
- (3)视频播放和显示能力有限。

本文使用 SM501 显示加速协处理器+工业级 ARM9 微控制器 S3C2440 的方案,从硬件上解决了嵌入式系统的上述 3 个缺点。

SM501 是一款便携式多媒体协处理器芯片,专门为嵌入式工业提供显示功能,具有视频和 2D 加速能力。它支持多种输入/输出接口,包括模拟 RGB、数字 LCD 接口、8 位并行接口、USB、UART、IrDA、Zoom Video、AC97 或 I²S、SSP、PWM 和 I²C。SM501 的 2D 引擎包括一个前端色彩空间转换器,支持 4:1 和 1:8 的比例。LCD

视频流水线支持一个 YUV 色彩空间转换。通过将优化的 128 位的 2D 图形引擎和一个与本地帧存储器连接的高带宽链接相结合,SM501 提供面向工业的 2D 图形加速功能。2D 图形引擎包含一个命令翻译器(一个增强型的 DMA 引擎),对于工作在 150 MHz 的 32 位数据宽度的 SDRAM,SM501 的 DMA 引擎读取 2D 操作数的带宽可达 600 MB/s^[4]。

SM501 支持的最大显示分辨率为 1 280×1 024,可以轻松支持普通 PC 显示分辨率 1 024×768,颜色深度可达 24 bit,具有很强的色彩表现能力。由于 SM501 使用本地帧存,显示完全不占用系统带宽。SM501 的 2D 图形引擎提供的硬件加速功能给 CPU 解决了大部分的显示负担。这样,从根本上解决了嵌入式系统在显示性能方面的不足。

S3C2440 是以 ARM920T 为核心,基本工作频率为 400 MHz、最高可达 533 MHz 的一款工业级 MCU。其内部集成了 RART、USB、I²C、LCD、NAND 和 MMC/SD controller 等多种常见 IO 设备控制器^[5]。S3C2440 的性能达到了目前嵌入式处理器的中高端水平。

整个脱机播放系统的硬件结构如图 1 示。S3C2440 与 SM501 在 slave 模式下通过系统总线连接,形成 UMA(Unified Memory Architecture)配置。SM501 连接 8 MB SDRAM 作为本地帧存,在 UMA 结构下 S3C2440 可以通过系统总线直接访问 SM501 的本地帧存和 MMIO 寄存器^[6]。

利用 S2C2440 提供 USB 主机 OHCI 控制器,系统挂载 USB 接口的高容量存储盘来保存要播放的多媒体文件。S3C2449 通过系统总线外接 DM9000A 10/100 MB 网络芯片,上位机脱机控制软件通过 Internet 网络连接到脱机系统进行实时控制。脱机系统通过网络可实现流媒体功能。

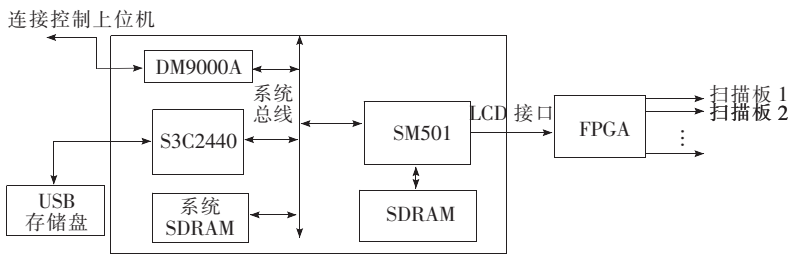


图 1 脱机播放系统硬件组成框图

Fig. 1 Main components of off-line display system

对于 SM501 输出的数字视频,采用 FPGA 进行采集和分发。SM501 与 FPGA 之间通过 TFT-LCD 数字接口连接。FPGA 采集 LCD 接口输出的像素数据并实时分发到扫描板完成图像显示。

4 针对 SM501 的软件设计及优化

在上述硬件平台上,本文开发了一套基于嵌入式 Linux 操作系统的 LED 脱机播放软件,具有多区域同时播放、流媒体功能和实时控制功能。这里重点说明针对 SM501 所做的显示和视频解码方面的软件设计和优化,这部分是提升整个系统性能的关键所在。

4.1 SM501 的基本编程模型

SM501 的内存映射为 64 MB 大小的区域,又分为本地帧存和 MMIO 两个部分。SM501 的 MMIO 区域由多个功能模块的寄存器集合构成,一共占用 64 kB 大小,映射在 64 MB 空间的最后 2 MB 起始处,如图 2 示。其中绘图引擎(Draw Engine)部分属于 MMIO 中的功能寄存器集合之一^[7]。

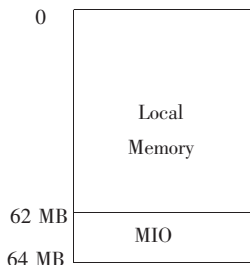


图 2 SM501 的内存映射
Fig.2 Map of SM501 memory

SM501 的绘图引擎包括两个部分,2D 绘图引擎和 CSC 颜色空间转换模块。2D 绘图引擎主要用来绘制直线(基于 Bresenham 算法)、矩形填充、复制(Bitblt)、旋转复制(Rotation bitblt)。缩放与颜色空间转换功能都是通过 CSC 模块来实现。CSC 模块可以实现 YUV422、YUV420、RGB565、RGB888 几种色彩空间及格式转换到 RGB565 和 RGB888,色空间转换隐含了缩放功能。

通过操作 SM501 的绘图引擎模块中的相关寄存器可以实现全部 2D 加速功能,一个典型的 2D 图形接口 bitblt(图像复制)在 SM501 上的实

现步骤如下:
接口定义:void bitblt(dst_base,dst_X, dst_Y, src_base, src_X, src_Y, src_width, src_height)。该接口功能在于把源图像区域复制到目标起始坐标处。操作分为 6 步:

- (1)在每一个命令开始之前必须确认 SM501 处于空闲状态,否则等待至 SM501 空闲;
- (2)分别写目的/源显存基址 dst_base/src_base 到寄存器 DE_WINDOW_DESTINATION_BASE / DE_WINDOW_SOURCE_BASE 中,这两个地址均为 SM501 本地帧存物理地址,源地址处保存了要复制的图像数据的基址;
- (3)设置目标起始坐标 dst_X,dst_Y 到 DE_DESTINATION 中;
- (4)设置源起始坐标 src_X, src_Y 到 DE_SOURCE 中;
- (5)设置图像大小 src_width,src_height 到 DE_DIMENSION 中;
- (6)置 DE_CONTROL 的命令域为 BITBLT,置 STATUS 位为 1 开始执行命令。SM501 开始执行复制工作。

可以看到,SM501 的 2D 加速操作只需要 CPU 进行基本的 IO 寄存器设置,其余的过程完全由显卡去完成,CPU 与 SM501 达到最大化的并行工作。对于最耗费 CPU 时间的缩放与色空间转换,使用 SM501 提供的硬件加速操作可使 S3C2440 节约 10 ms 左右的时间。整个系统的性能无疑得到极大的提高。

4.2 Linux 下基于 SM501 的底层显示接口设计

在 Linux 下,应用程序可以通过 Frame Buffer 驱动访问显卡。通过系统调用 mmap 把 SM501 的 MMIO 和本地显存全部从内核空间映射到用户空间,这样在用户空间可直接访问 SM501 的寄存器和显存,避免了在显示时应用程序与内核之间的数据交换。基于对 MMIO 中绘图寄存器的直接访问,播放软件在底层显示层实现了一套基本接口,包括显存分配和释放以及基本 2D 加速操作,如画线(line)、矩形填充(fill_rect)、位图复制(bitblt)、缩放(bitblt_stretch)、色空间转换(CSC)等。其中对视频播放性能影响最大的是缩放和色空间转换。所有图片、文字和视频的显示直接依赖于底层显示接口。底层图形接口在整个系统中层次示意图如图 3 示。

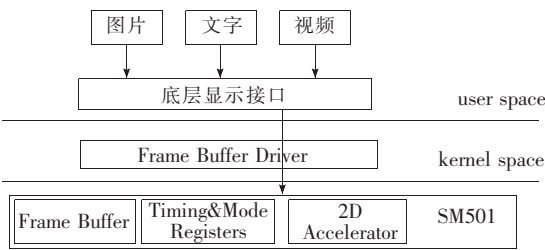


图 3 底层显示接口层次

Fig. 3 Layers of low level display interface

SM501 在 slave 模式下连接到 S3C2440 系统总线上,SM501 不能直接访问系统主存,图形显示接口的操作数又必须是 SM501 的本地缓存的物理地址,对于显存资源必须进行分配与释放的管理。显存管理是对映射到用户空间的 Frame buffer 进行的。显存分配使用空闲链表的方法实现,并且采用最先适应的原则。最先适应分配算法有利于保留更大的连续内存块给那些一次性内存需求量大的分配请求。

在 Linux 下实现 2D 显示接口需要实现地址的转换,显存分配得到的地址是映射到进程空间的虚拟地址,而图形接口写入 SM501 寄存器的地址是显存局部物理地址(0~62 MB),必须进行地址转换,转换方法就是用分配函数得到的地址减去 mmap 得到的首地址。

在多个显示区域同时显示的情况下,显存的分配与释放管理以及所有的基于硬件加速的 2D 操作均应被互斥地调用,以避免多线程同时对 SM501 资源进行争用带来的与时间相关的执行错误。

4.3 利用 SM501 对视频播放进行优化

这部分介绍针对 SM501 显卡提供的硬件 CSC 功能进行的 MPEG-4 解码过程优化设计,并给出优化后的解码和显示方面的测试数据。LED 脱机播放系统目前支持 MPEG-4 视频格式的 AVI 文件播放。

Xvid 是开源的 MEPG-4 码器,遵守 GPL 通用公共许可证,也是目前国际上公认的性能最佳的 MPEG-4 编解码器之一,支持 MPEG-4 SP 框架。本文移植了 Xvidcore-1. 1. 3 到 ARM-Linux 环境作为解码核心。

由于 MPEG-4 视频编解码的原始颜色空间是 YUV420,如果直接输出 YUV420 平面格式

Xvid 不需要进行颜色空间转换,其余输出格式则需要经过色空间转换算法得到。YUV420 转 RGB 的算法如下:

$$\begin{aligned} R &= Y + 1.4075 \times (V - 128) \\ G &= Y - 0.3455 \times (U - 128) - \\ &\quad 0.7169 \times (V - 128) \\ B &= Y + 1.779 \times (U - 128) \end{aligned}$$

大多数 RISC 处理器不支持浮点运算,都采用软件浮点的办法来实现,严重耗费了 CPU 时间。即使使用快速查表算法完成上述转换,每个像素点计算和存取也需要 5 次内存访问和 7 次加法运算,开销也很可观。在使用 Xvidcore-1. 1. 3 解码器输出不同的颜色空间格式时,软件算法对整个解码时间的影响就非常显著。表 1 是在 S3C2440+Linux2. 6 平台下使用 Xvidcore-1. 1. 3 解码同一 MPEG-4 视频文件(分辨率 320×176)使用不同输出格式的帧频比较。

表 1 Xvid 不同输出格式解码速率比较表

Table 1 Comparison of Xvid decode rate in different output color format

Xvid 解码输出格式	解码速率(帧/s)
XVID_CSP_ABGR (RGB 888)	15.77
XVID_CSP_RGB (RGB 888)	19.30
XVID_CSP_RGB565 (RGB 565)	34.93
XVID_CSP_I420 (YUV4:2:0 平面格式)	47.82

设计中使 Xvid 解码直接输出 YUV420 平面格式,避免了 Xvid 使用软件算法进行色空间转换,然后使用 SM501 提供的 YUV420 转 RGB888 硬件色空间转换命令完成视频帧的显示。从表 1 中可知,SM501 硬件色空间转换使得整个解码转出帧率(47.82 帧/s)提高到原来(15.77 帧/s)的 3 倍左右。SM501 的色空间转换本身包含了缩放功能,因此,可以在全屏模式下以 47.82 帧/s 速率播放视频。

Xvid 解码过程需要不断输入 MPEG-4 视频编码比特流,视频流从 AVI 文件中提取。AVI 文件存储在 USB 可移动存储盘上,慢速的文件 IO 会导致解码过程产生间隙性的视频播放停顿,因此有必要采用单独的 IO 线程从 AVI 文件中不断提取视频流。IO 线程与解码线程构成一种生产者—消费者类型的线程同步关系,需要引入同步

互斥量来保证其同步工作。同时,为了避免对数据的二次复制,设计中直接在 SM501 本地显存中申请了空间作为解码帧输出地址。图 4 表示了简化的视频播放软件流程。

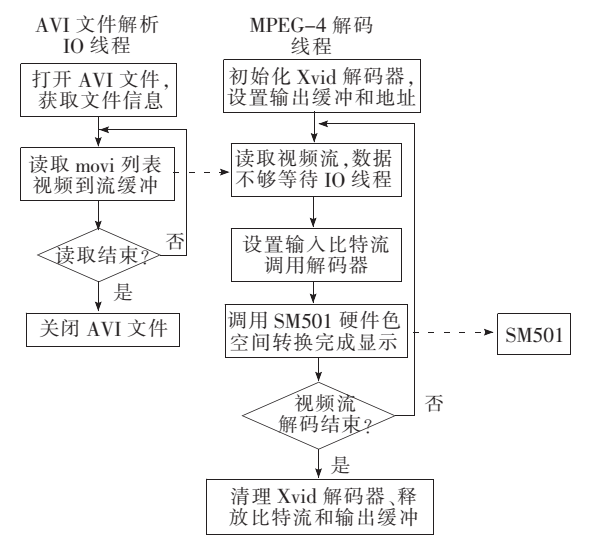


图 4 优化的视频播放流程

Fig. 4 Optimized routine of video play

通过硬件缩放和像素复制,脱机播放系统实现了在 1 024×768 分辨率下的全屏流畅视频显示和多区域视频同步显示等普通嵌入式系统难以达到的显示效果。多个显示区域下脱机播放系统 AVI 视频文件播放性能测试结果如表 2 示。可以看到,解码速率与视频实际显示速率完全相等,区域大小以及多个区域同时显示对系统性能没有显著影响。

参 考 文 献:

[1] 赵才荣,丁铁夫,郑喜凤,等. 大屏幕 LED 显示控制系统的设计 [J]. 液晶与显示, 2005,21(6):564-568.

[2] 杜春雷. ARM 体系结构与编程 [M]. 北京:清华大学出版社,2003:2-8.

[3] 孙琼. 嵌入式 Linux 系统开发详解 [M]. 北京:清华大学出版社,2006:363-373.

[4] 王立凤. 多媒体协处理器 SM501 在嵌入式系统中的应用 [J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006,(6):42-43.

[5] Samsung Electronics Co. The S3C2440A 32 bit RISC microprocessor user manual [R]. Korea;Samsung,2004:(15-1)-(15-33).

[6] 巨政权,原亮. 基于 S3C2440 和 SM501 的嵌入式系统硬件设计 [J]. 计算机技术与发展,2008,18(10):207-213.

[7] Silicon Motion Inc. SM501Mobile multimedia companion chip databook version 1.01[R]. 中国台湾;Silicon Motion, 2003:(1-1) - (1-5), (4-1)-(4-27).

表 2 视频播放器性能测试

Table 2 Performance test results of video player

视频文件及分辨率	解码速率(帧/s)	显示速率(帧/s)
单个 640×480	10~11	全屏或多个不同大小区域同步,显示 10~11
单个 480×320	20~23	全屏或多个不同大小区域同步显示 20~23
两个 320×240 AVI 文件	>15	两个区域同时播放不同视频文件>15

5 结 论

采用多媒体协处理器 SM501 和 S3C2440 组成硬件平台,突破了普通嵌入式系统在显示性能上分辨率低、颜色表现能力差的缺点。在软件上通过 Frame Buffer 驱动把整个 SM501 的内存空间映射到用户空间,充分挖掘 SM501 提供的 2D 加速功能,利用显卡提供的硬件缩放和色空间转换方法,使得视频解码效率提高了 3 倍,同时达到了任意大小的缩放显示、多区域显示等高级显示效果。这些效果普通嵌入式体系结构根本无法实现。测试结果表明,使用 SM501 作为显示协处理器极大地提高了小型嵌入式系统的显示能力,完全胜任高分辨率全彩 LED 显示屏的脱机显示,并且对其他需要高性能视频显示的嵌入式系统的设计也提供了参考。

Application of Multimedia Coprocessor SM501
in Full Color LED Screen Off-Line Display System

DING Tie-fu¹, CHEN Wei^{1,2}, ZHENG Xi-feng¹, YUAN Zhen^{1,2}
(1. Changchun Institute of Optic, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail:beelike@126.com;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract

A novel design for full color LED screen off-line display system based on embedded system was proposed in this paper. The goal of this project is to develop a solution of tiny off-line display system which can support full color high definition LED screen. The multimedia coprocessor SM501 was adopted to solve the bottleneck of display system in a typical embedded architecture. Software interface of 2D graphic acceleration for SM501 was designed to speed up the display and optimize the video play. This project solved the limitations in current LED off-line control card, such as support only homochromy or pseudo color LED screen, support only low definition screen and does not support for high quality video display.

Key words: SM501; LED off-line display; S3C2440; Xvid

作者简介:丁铁夫(1946—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,研究方向为计算机控制、数字图像处理。

=====

常见的废弃单位及换算因数

单位名称	符 号	换算因子
英寸	in	1 in=2.54 cm
托	Torr	1 Torr=133.322 Pa
毫米汞柱	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
毫米水柱	mmH ₂ O	1 mmH ₂ O=9.80665 Pa
西西	cc	1 cc=1 mL
熙提	sb	1 sb=10 ⁴ cd/m ²
尼特	nt	1 nt=1 cd/m ²
屈光度	D	1 D=1 m ⁻¹
体积克分子浓度	M	1 M=1 mol/L
标准大气压	atm	1 atm=101.325 kPa