

文章编号:1007-2780(2016)06-0578-06

基于 SoC 的机载显示器视频图形融合处理系统

钟海林*,曹 峰,高伟林,张 锋
(苏州长风航空电子有限公司,江苏 苏州 215151)

摘要:为了满足机载显示器对综合视频图形处理技术的需求,提出了一种基于 SoC 嵌入式处理平台的机载视频图形融合显示与视频记录系统实现方法。该方法以 SoC 为核心搭建硬件平台,使用 SoC 内部集成 ARM 处理器和视频图形协处理单元执行图形生成算法与外视频采集,配合 SoC 片上高速存储和显示接口,采用双缓存与多线程并发机制实现视频图形融合显示和外视频实时记录。本方法支持多种格式分辨率的视频源采集和大分辨率图形同步生成。实验结果表明,采用该系统技术后机载显示器采集 1 024×768 分辨率外视频同时生成 1 920×1 080 分辨率图形时,融合处理后帧率可达 45 fps,能够满足机载显示器实时显示需求。

关 键 词:机载显示器;视频记录;视频图形融合;i. MX6Q 处理器

中图分类号:V241.8 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163106.0578

Video and graphics fusion system based on SoC in cockpit display system

ZHONG Hai-lin*,CAO Feng, GAO Wei-lin, ZHANG Feng
(Suzhou Changfeng Avionics Co.,Ltd., Suzhou 215151, China)

Abstract: In order to satisfy the demand for integrated video and graphics processing technique in a cockpit display system, a method about airborne video graphics fusion display and video recording system based on SoC is proposed in this paper. Hardware platform is designed based on SoC. The graphics generation algorithms and video acquisition are performed by ARM processor and video graphics assist processor integrated in SoC. A double buffer and multi thread concurrent mechanism is designed to realize video graphics fusion display and real-time recording of video in cooperation with high speed storage and display interface integrated in SoC. Multiple formats resolution video source acquisition and large resolution graphics generation are supported by the proposed method. Experiments show that when capturing with 1 024×768 resolution video and generating with 1 920×1 080 resolution graphics, the fame rate is 45 fps, which satisfies the requirements of the cockpit display system.

Key words: cockpit display system; video recording; video graphics fusion; i. MX6Q

收稿日期:2015-07-20;修订日期:2015-10-07.
基金项目:国家 863 高技术研究发展计划(No. 2011AA110101)
Supported by National High Technology Research and Development Program of China (No. 2011AA110101)
* 通信联系人,E-mail:zhhl2003@126.com

1 引言

在机载电子系统中,显示系统将各种飞行参数信息转换为生动直观的视频图形字符等视觉信息,是飞机与飞行员进行人机交互的桥梁^[1-2]。随着科学技术的进步,座舱显示系统正向着综合化、数字化、自动化、智能化、高精度、高效能、高可靠性等方向发展^[3-4]。目前最新一代的飞机中,已经逐步采用综合视频图形显示系统来替代传统的指针式仪表显示系统,典型的综合视频图形显示系统中需要显示的画面主要是由背景视频叠加上的基本的图形及字符组成^[4]。传统的 DSP+ FPGA 或 DSP+VRAM+ASIC 综合视频图形架构控制逻辑复杂,性能提升有限且内部接口设计复杂度高^[5-9]。尤其在大尺寸座舱显示器余度设计要求下,体积与功耗很难进一步降低,且一般不具备视频记录播放功能。

基于此,本文针对机载显示器对综合视频图形处理技术的需求,提出一种基于 SoC 嵌入式处理平台的机载视频图形融合显示和视频记录系统实现方法。使用 SoC 平台的视频采集、图形生成、硬件编解码及高速存储等接口和处理单元,实现外视频采集、视频图形叠加、视频编解码、视频记录和播放功能,为机载显示器,单兵作战终端等视频图形一体化应用领域提供可行的技术方案。

2 视频图形系统构成及其工作原理

2.1 视频图形系统硬件构成

本文硬件平台采用飞思卡尔的 i.MX6Q 作为主处理器,配置外部 DDR3 和程序存储器等外部子系统构建而成。i.MX6Q 内部集成 4 个 ARM cortex-A9 内核(指令数据处理单元)、3D/2D GPU(图形产生单元)、IPU(图形处理显控单元)、VPU(视频处理单元)及 SATA 总线接口控制器等模块,支持 OpenGL ES 1.1、OpenGL ES 2.0、OpenVG 1.1 标准 API 接口,硬件结构如图 1 所示^[10-11]。其中 ARM 内核、GPU、IPU 和 VPU 通过图形 SoC 芯片内部标准 AXI 总线互联,实现指令数据交互。

2.2 视频图形系统工作原理

该系统基本工作原理为:采用 SoC 片上图像

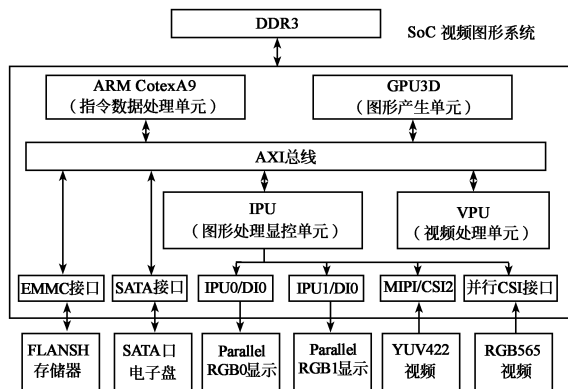


图 1 系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of system

传感器数据采集接口捕获外视频数据,经过 VPU 预处理后与自主生成图形叠加后输出至外部显示设备;同时将外视频或外视频与自主生成图形叠加后的视频数据编码存储到外部非易失性存储介质中;内置视频播放器,可实时解码播放外部存储介质中编码视频文件。由图 1 可知,ARM 处理器通过内部数据指令总线控制 GPU3D 内核实时生成机载图形,采用 CSI 与 MIPI/CSI2 实现 RGB 和 YUV 格式视频数据采集。根据不同的应用需求,系统将外视频分为视频图形叠加和视频记录两种处理方式。当进行视频图形叠加时,外视频被送入与 IPU 绑定的视频帧存,设置帧存相关参数,实现与自主生成图形 alpha 透明叠加。视频记录时,ARM 处理器通过内部命令总线将外视频送入 VPU,并采用 H.264、MPEG 等算法对视频流进行编码,编码后的视频文件经 SATA 高速接口存储于外部电子硬盘中。视频解码播放时,应用程序从电子盘读取编码后视频文件,经过 VPU 解码后通过 IPU 单元的 RGB 显示接口输出至显示屏。

3 系统关键技术

3.1 视频采集

基于 SoC 的视频采集是基于 Linux 系统标准视频处理接口 V4L2 驱动构架设计实现的,内部接口框图如图 2 所示。i.MX6Q 处理器包含 CSI 和 MIPI/CSI2 两路片上传感器接口,CSI 最高支持 1 280×1 024@30 fps,MIPI/CSI2 支持 1 080P@30 fps 视频源采集。

方案。首先修改 Linux 内核引导启动参数,将外视频存放于 fb1,图形存放于 fb0 中。其次设置 fb0 帧存属性主色键为黑色底色,实现视频图形 Alpha 透明叠加,同时也可以根据具体需求适时调整叠加区域的 Alpha 值来改变机载视频图形叠加效果。

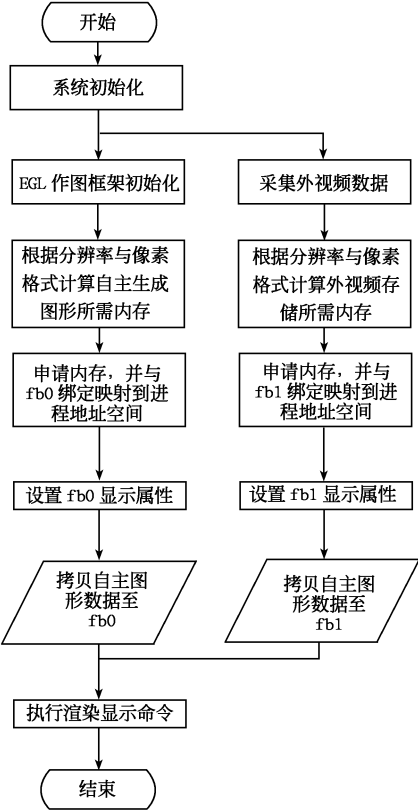


图 3 视频图形融合显示流程图

Fig. 3 Flow chart of video graphics fusion display

3.3.2 RGB 接口显示输出

i. MX6Q 包含 DISP0 和 DISP1 两路并行 RGB 显示接口,最高支持 2 560×1 024 视频与图形输出显示。其中 DISP1 与外部接口模块 EIM 部分引脚功能复用,需要修改 BSP 文件相关初始化配置,将复用引脚设置为 RGB 接口功能。具体步骤为首先修改 board_imx6q.c,将 DISP0 注册为设备文件“lcd”,DISP1 注册为设备文件“rgb”。其次使能 Linux 内核中 LDB 驱动组件,并在 uboot 启动命令中,将“lcd”与“rgb”作为显示设备参数传递到系统内核中,调用显示接口输出。实际应用中发现当 DISP0 输出像素时钟高于 54M 时(1 280×1 024@30 Hz)无法显示,需要设计 DISP0_CLK 引脚输出能力为 200 MHz 才能

正常显示。

3.4 视频记录与播放

视频记录与播放是指将传感器接口采集的外视频经过编码后存储和解码后播放功能,用于机载显示器工作状态的实时监测,主要包含视频编解码和电子盘存储两部分,视频编解码流程如图 4 所示。

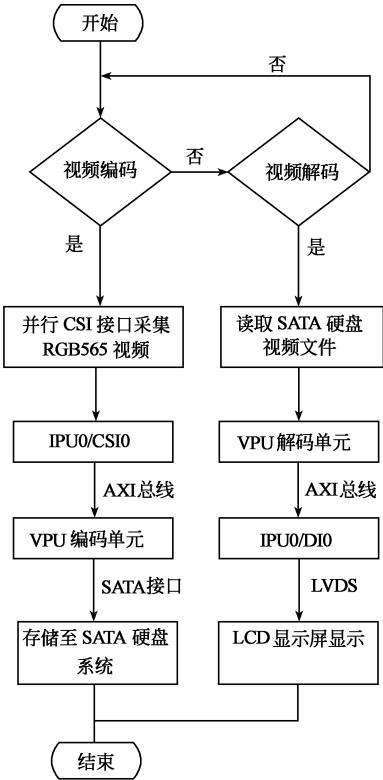


图 4 视频编解码处理流程图

Fig. 4 Flow chart of video coding and decoding

3.4.1 视频硬件编解码

SOC 平台视频编解码功能主要针对 YUV 格式视频,采用 i. MX6Q 处理器 VPU 内置硬件解码 H. 264 算法实现。与 RGB 类似,YUV 也是一种颜色编码方法,将亮度信息 Y 与色彩信息 UV 分离,与 RGB 相比 YUV 格式视频传送占用极少的频宽。实现 H. 264 硬件编码,需要在内核中使能 VPU,并加载 VPU 驱动至内核;然后在用户空间应用程序中初始化 VPU 单元,指定视频编码算法(H. 264、MPEG4 等),生成的相应的视频编码文件,调用 SATA 文件系统存储至外部电子盘。

视频解码与编码过程相似,但操作流程相反。首先用户空间应用程序从外部电子盘读取.h264

文件,使用 VPU 内置 H. 264、MPEG4 等硬件解码算法解码。实际应用中视频解码操作时需要修改 Linux 内核驱动中 i. MX6Q 电源管理类支持和 CPU 动态工作频率调整功能,否则会引起内核资源冲突导致 Linux 内核崩溃。

3. 4. 2 电子盘存储设计

电子盘存储是指通过 i. MX6Q 片上 SATA 接口与电子盘连接实现外部文件存储功能。硬件上采用 7 线制连接,电子盘采用独立供电。软件上修改和增加 u-boot 和 Linux 中相关代码实现硬盘文件系统,其主要步骤如下。

(1)建立 SATA 分区:进入/dev/sda,调用 Linux shell 命令 fdisk 对硬盘进行分区操作,分区命令为 fdisk/dev/sda,将 sda 划分成若干个硬盘分区;

(2)格式化分区:完成 SATA 硬盘分区后,对硬盘分区进行格式化处理,目前支持 vfat 和 ext2 两种文件系统格式,本文使用 mkfs. ext2 格式化相应分区;

(3)挂载分区到 Linux 系统:在格式化完成后,建立分区挂载关系,使用 mkdir 命令创建需要挂载的文件,将相应分区与文件挂载;

(4)创建硬盘文件:进入对应分区文件目录下,调用 touch 命令生成相应文件。

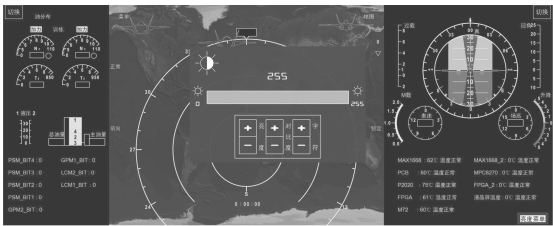
4 实验与结果

4. 1 实验条件

在系统实验验证时,硬件平台为自研的 SoC 视频图形模块,核心处理器为 i. MX6Q,内核主频为 1.0 GHz,图形生成反走样等级设为 4 级。为了全面验证 SoC 平台的视频图形综合处理性能,



(a)1 280×1 024 视频与图形
(a)1 280×1 024 video and graphics



(b) 1 920×1 080 视频与图形
(b) 1 920×1 080 video and graphics

图 5 测试画面

Fig. 5 test pictures

本文以 1 280×1 024 与 1 920×1 080 两种分辨率机载显示器画面与 640×480 和 1 024×768 两种视频分辨率采集情形下,测试对比图形生成时间和显示帧率。具体实验测试画面如图 5 所示,其中包含了外视频、矩形、三角形、圆环、中文字符、英文字符、数字及符号等显示内容。

4. 2 实验结果

针对上述实验条件所得实验结果如表 1 所示。

表 1 SoC 视频图形融合实验结果

Tab. 1 Result of video and graphics combing experiment

视频 分辨率	图形 分辨率	图形生成 时间/ms	融合显示 帧率/fps
640×480	1 280×1 024	17. 5	51
	1 920×1 080	26. 1	35
1 024×768	1 280×1 024	17. 8	50
	1 920×1 080	20. 3	45

SoC 生成 1 280×1 024 图形所耗时间主要由图形产生时间、写帧存时间、反走样处理及渲染刷新时间 4 部分组成。生成 1 920×1 080 分辨率图形时间在包含上述 4 部分组成基础上增加了虚拟帧存向实际显存拷贝时间。本文针对大分辨率图形视频融合处理,采用多核多线程并行优化技术,分别将图形产生、写帧存、内存拷贝及渲染刷新操作绑定至不同内核执行。实验证明此项优化技术可以大幅度提高系统性能,在外视频分辨率为 1 024×768,图形分辨率为 1 920×1 080 负载下,其视频图形融合处理时间约为 22 ms,能够满足机载显示器实时性要求。

5 结 论

本文针对机载显示器对视频图形融合显示、外视频记录等综合处理技术的需求,提出了一种基于 SoC 嵌入式处理平台的实现方法,介绍了综合视频图形系统的结构和工作原理,给出关键技术设计方法。与现有技术相比,该技术具有视频综合处理和

图形自主生成能力、功能综合度和集成度高、体积小、功耗低等特点,打破了传统综合视频图形处理架构,为视频图形融合处理提供了低功耗、高性能的轻量化技术方案。最后,给出了多种分辨率下典型画面的对比测试。通过实验验证,在视频源为 $1\,024 \times 768@30\text{ fps}$,自主生成 $1\,920 \times 1\,080$ 分辨率图形画面时,帧率可达 45 fps,能够满足机载显示器综合视频图形实时显示需求。

参 考 文 献:

- [1] 王旭峰. 机载大屏幕显示机器人机工效及其标准初探[J]. 航空科学技术, 2013(3): 29-32.
WANG X F. Research on airborne large-screen display ergonomics and standards [J]. *Aeronautical Science & Technology*, 2013(3): 29-32. (in Chinese)
- [2] 杨昕欣, 张晓林, 徐广毅. 嵌入式电子飞行仪表系统软件设计[J]. 航空学报, 2005, 26(1): 74-78.
YANG X X, ZHANG X L, XU G Y. Software design of embedded electronic flight instrument system [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2005, 26(1): 74-78. (in Chinese)
- [3] 贾银亮. 基于 FPGA+DSP 的飞机座舱综合图形显示技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
Jia Y L. Research on combined graphics display system in aircraft cockpit based on FPGA+DSP [D]. Nanjing: *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2011. (in Chinese)
- [4] 邢新强, 李国超, 肖锋. 机载座舱显示发展趋势分析[J]. 飞机设计, 2010, 30(2): 34-36.
XING X Q, LI G C, XIAO F. The developing trend analysis of aircraft cockpit display [J]. *Aircraft Design*, 2010, 30(2): 34-36. (in Chinese)
- [5] 尤力. 机载视频处理及图形生成系统硬件平台设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
YOU L. Design and implementation of the hardware platform in Airborne video processing and graphics generation system [D]. Nanjing: *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 2012. (in Chinese)
- [6] 胡小龙, 周俊明, 夏显忠, 等. 飞机座舱图形显示加速系统设计及 FPGA 实现[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2008, 39(5): 1042-1048.
HU X L, ZHOU J M, XIA X Z, *et al.* Design and implementation of graphics accelerating display system based on FPGA [J]. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2008, 39(5): 1042-1048. (in Chinese)
- [7] 孔全存, 李成贵, 张凤卿. 主飞行仪表图形加速显示系统的 FPGA 设计[J]. 电子技术应用, 2007, 33(4): 62-64.
KONG Q C, LI C G, ZHANG F Q. The FPGA design of graphics accelerated display system in primary flight display [J]. *Application of Electronic Technique*, 2007, 33(4): 62-64. (in Chinese)
- [8] 张波, 张焕春, 经亚枝. 基于 DSP 和 FPGA 的座舱图形显示系统关键技术研究[J]. 信息与控制, 2003, 32(6): 548-552.
ZHANG B, ZHANG H C, JING Y Z. Research on critical technology of graphics display system in aircraft cockpit based on DSP and FPGA [J]. *Information and Control*, 2003, 32(6): 548-552. (in Chinese)
- [9] 郭超, 曹峰, 高伟林, 等. 基于 SOPC 的机载显示器图形实时生成技术[J]. 液晶与显示, 2014, 29(1): 65-70.
GUO C, CAO F, GAO W L, *et al.* Real-time graphics generation technology based on SOPC in cockpit display system [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(1): 65-70. (in Chinese)
- [10] 赵慕奇. 机载大屏幕显示器 SoC 图形系统设计[J]. 海军航空工程学院学报, 2015, 30(1): 69-72.
ZHAO M Q. Design of Airborne large-screen display's graph generating system based on SoC [J]. *Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University*, 2015, 30(1): 69-72. (in Chinese)
- [11] FREESCALE. i.MX 6Dual/6Quad Applications Processor Reference Manual [R]. USA: Freescale, 2013.

作者简介: 钟海林(1984—), 男, 安徽芜湖人, 硕士, 工程师, 主要从事机载座舱显示技术方面的研究。E-mail: zhhl2003@