

基于 FPGA 和 DSP 的机载高清 VGA 视频采集系统设计与实现

贺 敬

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 针对某新型机载视频测试需求的迫切性以及目前测试方法和设备不能满足试飞测试需求的问题, 以 TMS320DM6467T 芯片为核心处理单元, 采用 FPGA 和 DSP 设计技术, 完成了机载高清 VGA 视频采集系统的硬件和软件设计, 成功解决了该型机载视频的采集与处理, 实现了对该机专用视频采集各要求项目的自动测试功能和自检功能; 该视频采集系统已成功得到应用; 实践表明, 该系统能够满足测试需求, 具有测试精度高、运行稳定、可扩展性好等特点。

关键词: VGA; 采集; H.264 编码; 机载测试

Design and Implementation of Airborne High-Resolution VGA Video Acquisition System Based on FPGA and DSP

He Jing

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: Aiming at the testing requirement of an airborne video system and the dissatisfactory of the present testing methods and devices in the field of flight-testing, The technique of FPGA and DSP is adopted to implement the hardware and software design of the Airborne High-Resolution VGA Video Acquisition System based on TMS320DM6467. Problems such as the various kinds of video signals and the difficulty of revivification in the field of flight-testing, The required test items of airborne video acquisition are experimented and the self test succeeded. The Airborne High-Resolution VGA Video Acquisition System has been put into practice. It is indicates that Acquisition System could satisfy the self testing requirements of the test system for video signals, and it has the characteristics of high accuracy, reliable performance and being easily extended.

Key words: VGA; acquisition; H.264 coding; airborne test

0 引言

VGA 作为计算机标准技术虽然已广泛使用, 但其作为新兴技术在航空领域的应用时间很短。随着飞机航电技术及飞机任务电子系统的迅猛发展, 高分辨率 VGA 视频信号 (最高达到 $1\,600 \times 1\,200@60$ Hz) 采集、存储和实时传输成为一个非常重要的课题, 但是大数据量的高分辨率 VGA 视频对数据的采集、编码、存储和传输都带来了困难, 对高清 VGA 视频信号进行实时采集、记录, 是飞行试验机载测试面临的新挑战^[1]。

虽然基于 PC 机和 PCI 卡、PCI-E 卡的高分辨率 VGA 视频采集目前已经非常成熟, 由于受到机载环境恶劣、设备体积、温度范围等众多限制, 能够满足基于试飞测试领域的高分辨率的嵌入式 VGA 采集系统还未得到应用, 基于此本文针对实际应用需求, 采用 FPGA、DSP 设计技术和 H.264 编码技术完成了机载专用 VGA 视频采集系统的研制, 以满足型号试飞测试需要。

1 机载高清 VGA 视频处理系统方案设计

1.1 测试需求分析

飞行试验中, 常用的 VGA 信号分辨率包括, $1\,600 \times$

$1\,200@60$ Hz, $1\,280 \times 1\,024@60/75/85$ Hz, $1\,024 \times 768@60/75/85$ Hz^[2]。同时, 要求采集 VGA 信号时不能影响飞机原系统的正常工作; 视频编码时根据不同分辨率变化帧数可选, 编码后的码流可选 (压缩比可选); 解码后的视频画面上可以清晰的显示 6 号字体的字符。

1.2 机载 VGA 高清视频处理系统总体方案

针对上述实际需求, 输入视频采集系统的 VGA 信号分辨率已达到 $1\,600 \times 1\,200$, 60 Hz (时钟为 162 MHz), 本文采用基于 FPGA 和 DSP 的 H.264 编码技术方案, 原理框图如图 1 所示。首先使用视频采集芯片进行高清信号的匹配与隔离, 实现后续处理系统的格式转换, 接着使用 FPGA 来进行高速高分辨率 VGA 视频采集, 同时确定需要的编码帧率, 然后把需要编码的数据降频送入 DSP 的 VPIF 接口, 通过 DSP 芯片进行 H.264 编码压缩, 最后把编码的结果存储到固态硬盘中, 外置计算机可以通过 DSP 芯片预留的通信接口实现对视频采集系统进行管理和关键参数实时配置。

2 基于 FPGA 的机载 VGA 视频采集和转换

由于 DSP 的 VPIF 接口的速度限制, 对于 $1\,280 \times 1\,024@85$ Hz, 以及 $1\,600 \times 1\,200@60$ Hz 的输入要求, DSP 是无法满足的, 同时由于 DSP 编码速率的限制, 以及实际需求和存储容量的要求, 对于最大的 VGA 分辨率 $1\,600 \times 1\,200$, 编码帧率达到 30 帧已经足够, 所以采用 FPAG 进行 VGA 视频采

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-02-27。

作者简介: 贺敬 (1969-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事飞行试验机载测试与测试设备研发与集成技术方向的研究。

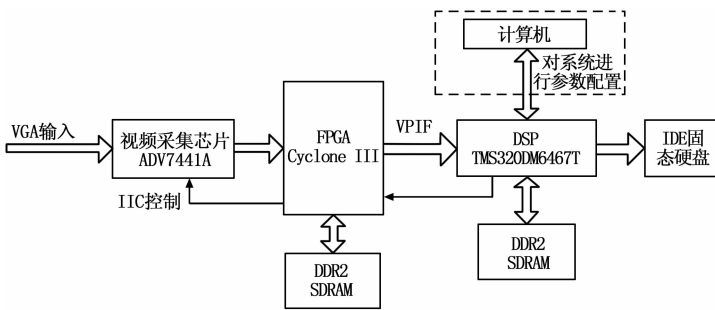


图 1 基于 FPGA 和 DSP 的 H.264 编码系统技术方案

集，同时进行降频后，输入到 DSP 的 VPIF 接口，进行视频数据的读取处理。对于 $1280 \times 1024@85\text{ Hz}$ 和 $1600 \times 1200@60\text{ Hz}$ 两种 VGA 输入，FPGA 进行至少 2 分频处理，即采集速度不变，FPGA 输出时，分辨率不变，但是帧频率进行降半处理。这样处理，保证了信号采集不损失，又满足了工程实际需求（25 帧）以及对记录容量的要求。VGA 视频采集原理框图如图 2 所示。

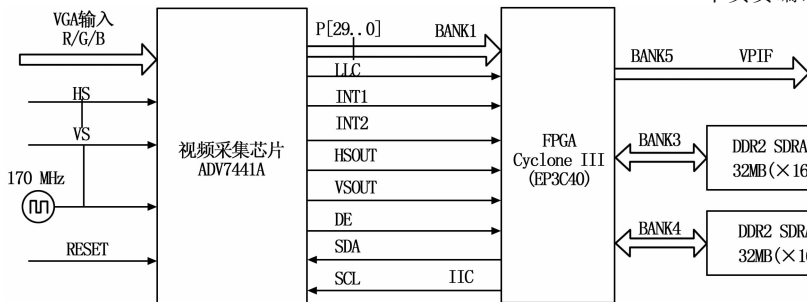


图 2 FPGA+ADV7441A 高分辨率 VGA 视频采集技术框图

本文在方案设计时为了满足高速采集、降频处理和格式转换的实际需求，采用乒乓缓冲区的机制进行处理，即 FPGA 外接乒乓缓冲区，每个缓冲区的存储队列至少为 2 组，前端高速采集时，FPGA 把数据存储在 A 缓冲区，另外对 B 缓冲区的数据进行格式转换和降频处理，输出到 DSP 的 VPIF 接口中。前端 VGA 采集芯片采用 ADV7441A，当最高 VGA 分辨率输入时，输出的数字视频的频率最高达到 170 MHz，所以 FPGA 的接口速度、外接 DDR2 SDRAM 以及 FPGA 的输出，都要达到 170 MHz 以上^[3]。鉴于系统的延迟，设计指标必须按照 200 MHz 以上进行设计。

3 基于 DM6467T 的高清 VGA 视频采集系统的设计与实现

3.1 视频信号采集设计与实现

为了满足 $1600 \times 1200 (60\text{ Hz})$ 的视频采集与编码，方案设计采用 TI 的最新处理器 TMS320DM6467T 芯片，该芯片内部包含两个核心处理器核，即 DSP C64+内核（频率可达 1 GHz）与 ARM 内核（频率为 495 MHz），系统运行以 TMS320DM6467T 为核心，输入接口为 VPIF 视频接口，通过采集 VPIF 到来的高清视频信号，其速度最高可以达到 150 MHz^[4] 并按照实际试飞需求进行参数和码流的配置，进而

采用 H.264 编码方式进行高速压缩，把编码的结果存储到固态硬盘里面，方案实现原理如图 3 所示。

为了保证系统的正常运行，系统扩展了 128 MB 的 DDR2 SDRAM（运行最高在 400 MHz）和 128MB 的 Nand Flash，用于存储启动程序，另外扩展出千兆网络、调试串口、USB 主口等，方便调试和下载程序。扩展出 JTAG 接口，用于 UBOOT 的下载和烧写以及进行驱动程序的调试。TMS320DM6467 是基于 DSP 的 SoC（System On Chip），集成了 297 MHz 的 ARM926EJ-S 内核与 594 MHz 的 C64x+DSP 内核，并采用高清视频/影像协处理器（HD-VICP, Video Image Co. Processor）和视频数据转换引擎（VDCE）^[5]，在执行 H.264（1080i 60 fps, 720p 60 fps）的同步多格式高清编码、解码与转码方面，比前代处理器性能大大提高。

3.2 基于 TMS320DM6467T 的 H.264 编码技术

在 TMS320DM6467T 的两个内核中专门集成了用于图像处理的高清视频图像协处理器，分别用于编码和解码加速。其中负责编码加速的 HD-VICP0 包括以下几个算法加速引擎：IPDE（帧间预测引擎）、ME（运动估计引擎）、MC（运动补偿引擎）、CALC（计算引擎）、ECD（熵编码解码引擎）、BS（边界强度计算引擎）和 LPF（环路滤波引擎），每个功能块能同时处理两个 16×16 宏块，通过流水线的排布能提高编码性能。高清视频图像协处理器（HD-VICP）包含一组算法加速引擎、缓冲存储器和各加速引擎同步的 ARM968 模块，按照 H.264 技术对高清 VGA 视频进行编码与压缩，其处理速度完全满足单路视频信号实时处理及高速存储的要求。

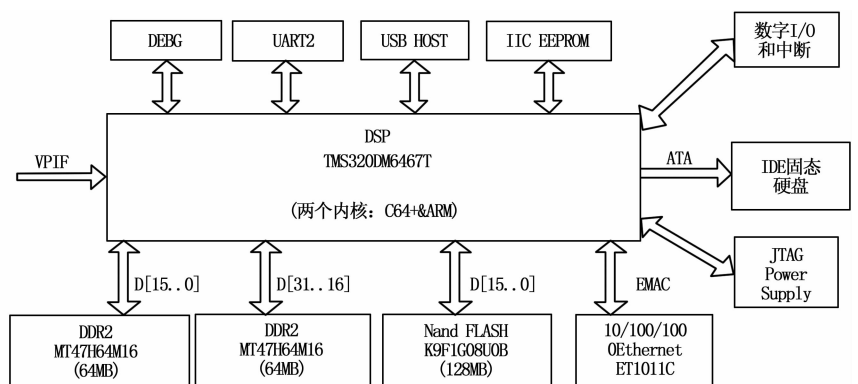


图 3 视频信号采集方案框图

3.3 系统软件设计与实现

为了保证系统的正常运行，本文在操作系统开发时采用嵌入式 Linux 操作系统，实现 Bootloader、内核、文件系统、应用程序的运行与管理。另外为了支撑这些模块，还包括交叉编译器、tftp 传输协议、串口调试工具等。

首先采用 Uboot 作为系统的 bootloader，对系统的 Nand Flash、DDR2 SDRAM、网络、调试串口进行初始化。这个阶段主要是从处理器的 ROM 开始启动，ROM 里面固化一段出厂写好的启动代码，加电后，系统首先从 ROM 中进行启动，

（下转第 1636 页）

提供新的信息。

推理时间的长短决定了整个诊断系统运行的成败，必须采取有效的措施防止无休止的推理占用系统内存。实际推理过程中，我们采用的冲突消解方式是：按照先进先出策略，最先进入综合数据库的事实作为前提最先被应用，以后的事实按顺序存放，并按顺序匹配，结构重要度高的规则优先采用。

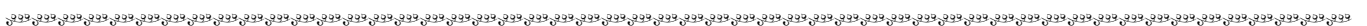
从故障树的推理过程可以看出，搜索路径是一条沿根节点到叶节点的路径，也就是说，故障树推理总是沿着匹配节点与分支向前进行，避免了不必要的盲目搜索。最坏的情况下，它的搜索深度等于故障树的深度。

根据前面的测试，通过对某“发动机空中停车”故障树的定性分析，得到了 {X1、X2}、{X5}、{X3}、{X4}、{X9}、{X10}、{X6}、{X7}、{X8} 9 个导致顶部事件发生的原因，只要一个组合发生错误，就会导致顶事件的发生。其中“操纵不当”、“进气调节故障”的优先级较高，系统在推理的时候先找到“进气调节”这一故障，经过检测不是故障原因，再次返回故障树查找，定位优先级第二的“发动机叶片疲劳损伤”故障，得到故障原因。在此过程中，系统总共进行了两次测试。

由上面分析可以看出，对发生的事件是小概率事件时，该系统存在一定的不足之处，针对这一情况，可采用人工调节事件优先级的方法处理。在此例中由于“供油泵压力不足”导致空中停车的特情，它的优先级别处于第五位，当此特情出现达到一定的次数时我们可以提高它的优先级。通过这样的改动，可避免故障原因是小概率事件时系统出现测试次数过多，误差率大这一情况，避免系统性能的降低。

3 结论

在飞行特情处置过程中，该专家系统能够依据计算机系统



(上接第 1633 页)

然后按照 DSP 的一般 bootloader 模式加载系统。为了程序的正常运行，设计时开发了 ramdisk 文件系统，存储到 Nand Flash 中，当系统内核启动之后，挂载该文件系统，可用于实现初始应用开发和执行 DVSDK 演示。另外通过修改 Arago OpenEmbedded 方法，可以根据试飞的实际需求添加专用进程。

4 系统测试与效果分析

系统研制成功后，按照实际需求，分别对 $1\ 600 \times 1\ 200$ (60 Hz)， $1\ 280 \times 1\ 024$ (60 Hz) 的 VGA 视频信号的采集与处理进行了实验室测试（测试结果图暂略），经过测试，系统满足机载高清 VGA 视频采集要求。

经例行试验及实验室系统调制后，将该视频采集系统应用于某型飞机飞行试验中，工作中系统采用 H.264 视频压缩技术，飞行 5 小时数据量为 32 GB，飞行结束采用任意的播放软件对采集数据编辑、回放，图像清晰可靠，特别是能清晰显示 6 号字符及曲线，经过 60 多架次的飞行应用，该系统工作稳定、可靠，数据准确。完全满足试飞测试需要。

5 结束语

文章基于目前机载测试的现实需求，对高分辨率 VGA 的

提供的特情决策方案进行快速匹配，迅速给出准确的处置方案，有效避免了传统的特情处置过程中经常出现的人为差错和时间延误。多次的应用实践表明，系统结构稳定、响应快速、定位准确，为确保飞行员的生命和飞机的安全发挥了重要的作用。此外，系统还具有良好的通用性和扩展性，只需对数据库做相应修改，还可应用于其它军机或民机的空中特情快速处置。在下一步的研究中，将结合后续特情处置的实践经验和数据，不断扩充系统知识库，进一步提高飞行试验空中特情处置的效率。

参考文献：

- [1] 张振山, 黄晶晶, 邓 威. 基于故障树的旋转输弹机故障诊断专家系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1913-1914.
- [2] 高培先, 符永鹏, 张延练. 基于规则专家系统的集成研发系统固有缺陷对策研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1711-1714.
- [3] 何 利, 王厚军. 基于知识的故障诊断系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2002, 10 (5): 322-323.
- [4] 周自全. 飞行试验工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [5] 石荣德, 赵廷弟, 屠庆慈, 等. 故障诊断专家系统 [J]. 北京航空航天大学学报, 1995, 21 (4): 7-12.
- [6] 蔡宗平, 汤正平, 闵海波. 故障树分析法的专家系统在故障诊断中应用 [J]. 微计算机信息, 2006, 22 (8): 135-138.
- [7] 李 蕾, 高铁曼. 产生式规则专家系统原理与实现 [J]. 微计算机应用, 2006, 27 (5): 631-634.
- [8] 徐亨成, 张建国. 基于 BDD 技术下的故障树重要度分析 [J]. 电子机械工程, 2003, 19 (6): 1-3.

视频采集、H.264 视频压缩、嵌入式 Linux 在多核处理器的移植等技术进行了深入的研究，采用软硬件结合的方式，完成了系统的设计与样机制作，经过飞行试验的实际应用与测试，满足机载高分辨率 VGA 的转换要求，实现了对高清 VGA 视频的数据采集与处理。对我国航空领域的飞行试验测试设备研制具有指导意义。

参考文献：

- [1] 韩文俊, 张艳艳, 等. 基于双 DSP 的实时高清 H.264 视频编码器实现 [J]. 电视技术, 2010, 34 (5): 33-35.
- [2] ITU-TREC H. 264/ISO/IEC 11496-10, Advanced Video Coding [S]. Final Committee Draft, Document JVTG05, 2003.
- [3] 肖晓明, 刘 佳, 等. 图像中网格直线的检测方法的研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, (10): 27-29.
- [4] TI Application Report (SPRAA16A). Creating a TMS320DM6467 Audio Encode Example Using XDC Tools [Z]. Dallas: Texas Instruments, 2007.
- [5] 叶建雄, 张 华, 等. 基于 DSP 和 CPLD 的液晶显示控制器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, (4): 163-166.