

嵌入式高清播放器容错机制的研究与实现

Fault-Tolerant Mechanisms for Embedded HD-Players

么 刚^{1,2} 王劲林² 姚 琼^{1,2} 朱小勇^{1,2} 孙 鹏²

(1中国科学院研究生院 北京 100049; 2中国科学院声学研究所 北京 100190)

摘 要: 本文综合考虑了播放断电容错、硬盘容错、版本升级容错以及瞬时峰值容错等4方面的问题, 提出一套完整的嵌入式高清播放器容错机制。对于嵌入式高清播放器及类似嵌入式系统的研发有一定的借鉴作用。

关键词: 嵌入式 容错机制 硬盘 软件升级 瞬时峰值

1 引言

随着传输技术和图像处理技术的提高, 数字视频逐渐由 SD (Standard Definition, 标准清晰度) 过渡到 HD (High Definition 高清晰度)。高清数字电视/电影符合人们对于高品质的数字多媒体的需求, 具有广阔的市场前景。而基于嵌入式系统技术的高清播放器也逐渐进入了家庭影音娱乐、楼宇广告、数字院线、农村工矿电影投影等诸多领域, 嵌入式播放器优势在于, 嵌入式设计便于携带; 支持 1080p/i 的高清播放; 支持多种封装和编码格式; 可支持授权卡, 保证数字版权。然而与 PC 相比, 嵌入式系统有一定的局限性。

针对高清播放器的嵌入式设计以及特定的功能性需求, 本文针对影响高清播放器正常使用和使用寿命的 4 类主要异常情况: 播放过程中断电异常、嵌入式硬盘异常、软件版本升级异常以及高瞬间峰值异常。在进行深入分析的基础上, 提出容错解决方案。

2 软件架构

本文所述高清播放器的软件架构位于 arm/ μ linux 之上, 分为应用层, 设备驱动层和内核层三层。在内核层, 鉴于嵌入式系统的存储能力有限以及高清播放机功能相对单一的特点, 对 μ linux 的内核进行精简和优化。在设备驱动层除了保留 μ linux 中必要的驱动模块, 还可以加入用于数字版权保护的读卡器的驱动模块以及用于人机交互的液晶屏 (或遥控器) 等的

驱动模块。在应用层实现了 4 个主要的功能模块: 主控模块、人机交互模块、播放功能模块和附加功能模块。主控模块用于整个播放机的功能调度; 人机交互模块用于液晶屏显示和接收外界指令; 播放功能模块主要实现电影、广告等的播放功能, 以及数字版本保护; 附加功能模块主要实现影片下载、版本升级等附加功能。其架构示意图如下图 1 所示:

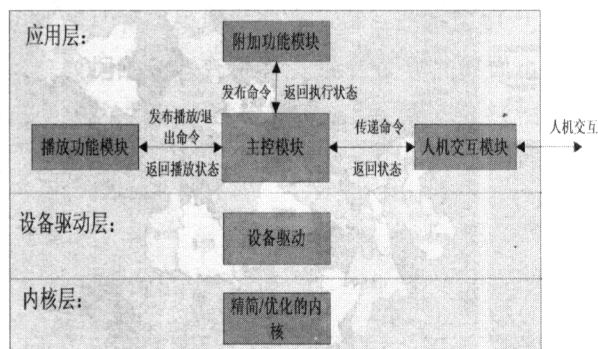


图 1 数字电影机软件架构图

上图描述了一个较为完整的高清播放机的软件架构, 能够完成高清播放机的基本功能。但是作为以产品化为目标的, 面向市场的软件还必须能够应对各种异常情况。

本文即从播放断电容错、硬盘容错、软件升级容错和瞬时峰值容错等 4 个方面, 说明可能存在的问题

及其对应的容错机制。

3 高清播放器容错机制研究与实现

3.1 播放断电容错机制

在电影播放过程中，可能出现断电的情况。从观众体验角度，在断电重启之后，影片应该从断电之前的画面处继续播放，因此要求播放机具有“记忆功能”和“判断功能”。

“记忆功能”是指，如果重启后选择播放其他的影片，认为放弃断电前的播放进度；而如果选择断电前的影片继续播放，播放器可以自动跳转到“记忆画面”，视音频同步后继续播放。“判断功能”是指，播放器需要判断用户是否希望进行“断电续播”。为此，设定了一个断电时间门限，在 内重启播放的，播放器跳转到“记忆画面”继续播放；在门限 之外重启的，认为电影播放的连续性和完整性已经被破坏，需要重头播放。可以根据用户体验进行设置和调整。播放断电容错机制流程如图 2 所示：

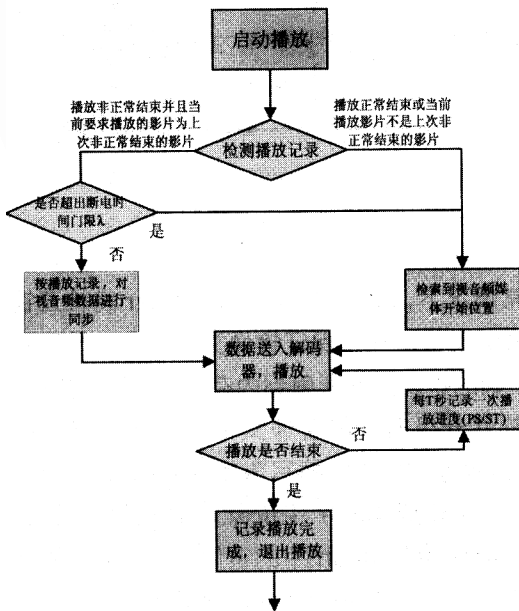


图 2 播放断电容错机制

启动播放后首先检测播放记录，按照播放记录和断电超时门限，判断从“记忆画面”还是从头播放。进入播放状态后，每 T 秒钟记录一次播放进度，播放进度将被写入磁盘。播放进度包括影片名称外，还需要包括当前已播放的秒数 PS，以及当前的系统时间 ST。PS 用于断电重启后定位“记忆画面”；ST 用于重

启后计算断电时间是否超出了门限值。从断电前后电影剧情和画面的连贯性角度考虑，T 的默认值为 20s，即至多从断电时进度的前 20 秒继续播放。另外根据工作负荷状态，播放模块将自动调整 T 的取值。当“断电续播”时，需要将视音频数据同步到“记忆画面”。对视频数据，可以通过文件中的 PTS<---->FrameNum<---->Offset 映射表，根据“记忆画面”的 PTS 定位相应的视频关键帧的位置；对于 AC3/DTS 等常见格式的音频数据，可以通过 Offset = PTS*Frame_Length/Frame 得到音频帧的位置，从而完成视音频数据的同步。

3.2 硬盘容错机制

高清播放器一般以硬盘为主要的存储介质，内嵌 40~160G 硬盘。在使用过程中，需要支持影片下载、影片删除、影片播放等硬盘读写操作。但与 PC 相比，嵌入式 μ clinux 操作系统具有明显的局限性，使得硬盘读/写时异常断电都会造成文件系统结构的损坏，直接影响播放器的播放稳定性和使用寿命。本文综合了现有嵌入式硬盘解决方案^[1,2]，提出了一种从内核层到应用层的硬盘容错机制。

为提高稳定性，我们首先在内核层面对文件系统进行优化。为减少磁盘 IO 操作，提高效率，linux 文件系统采用 cache 缓存，把磁盘中的数据缓存到物理内存中，把对磁盘的访问变为对物理内存的访问，内存与磁盘不同步的 cache 即为“脏页”。而当 μ clinux 文件系统中存在大量的脏页时，异常断电，将造成文件系统信息的丢失或不一致，导致文件系统的损坏，而当这些脏页中包含了 super 节点、i 节点、目录或空闲表时，问题尤为严重^[2]。现有的文件系统只有在出现下列两种情况之一时，才会进行脏页和磁盘的同步操作，即“回写”^[3]。1、空闲内存低于某一阈值时；2、脏页在内存中驻留时间超过某一阈值时。为此我们在内核层对关键脏页进行强制“实时回写”，而不等待前述的两种情况出现。强制“实时回写”既可能发生在系统调用层面也可能发生在文件系统内部调度层面。系统调用层面以系统函数调用为触发，当 open，unlink，mkdir，rmdir 等系统函数被调用时，文件系统的目录结构将发生变化，这时需将新增或删除的 i 节点的信息进行实时回写；文件系统调度层面以位图、hash 表、双向链表等数据结构对文件系统进行管理

理和维护,当这些数据结构发生变化时也会产生脏页,也需要进行实时同步。通过强制“实时回写”可以缩短那些关系到文件系统稳定性的脏页在内存中的驻留时间,从而降低此期间内异常断电造成文件系统损坏的概率。强制实时回写会在一定程度上降低硬盘的写效率,考虑到播放器对写硬盘(影片下载)效率要求不高,牺牲写效率换取硬盘稳定性是值得的。

在应用层我们采用了硬盘自检与用户主动检测相结合的方式,保证硬盘的故障检测和修复。硬盘自检发生在内核启动之后,应用程序启动之前,硬盘自检的触发条件有: 文件系统的第一个超级块损坏; 硬盘上次使用时没有安全卸载; 硬盘被卸载/挂载超过一定次数; 超过一定时间未进行检测。另外用户也可以通过人机交互,主动发起硬盘检测。磁盘的检测采用通用接口,主要是利用磁盘中的冗余信息进行逻辑判断,检测的主要内容包括:inode、block 的类型,大小是否正确;目录信息是否正确;文件系统目录树是否存在环结构;文件的链接数、引用数是否正确;文件系统的 super block、group block 信息是否正确等。对问题进行集中修复后进行重启。硬盘容错机制流程示意图如图 3 所示:

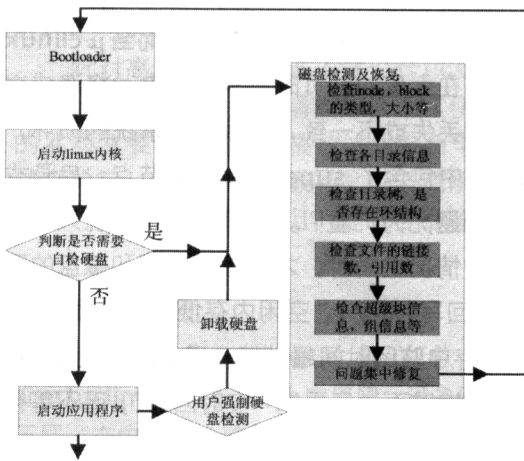


图 3 硬盘容错机制

3.3 版本升级容错机制

嵌入式软件的升级也是嵌入式产品的一个重要问题。在传统的 flash 布局中包括 Bootloader 和 linux 内核镜像文件(包括 linux 根文件系统、linux 内核以

及应用层可执行文件)。Bootloader 是以只读的形式固化在 flash 中,软件升级时只需擦写 linux 内核镜像文件。但是如果在擦写过程中出现突发干扰、烧写错误或断电,就可能造成 linux 内核镜像文件的损坏,导致系统无法正常启动。现有的安全性解决方案^[4]是在 flash 中固化一个备份的 linux 内核镜像文件,然而这需要增大 flash 的容量,无疑将提高产品成本。本方案采用了二级 bootloader^[5],将备份版本固化在磁盘的特定分区中,可以保证系统软件的可用性。版本升级容错流程图如图 4 所示:

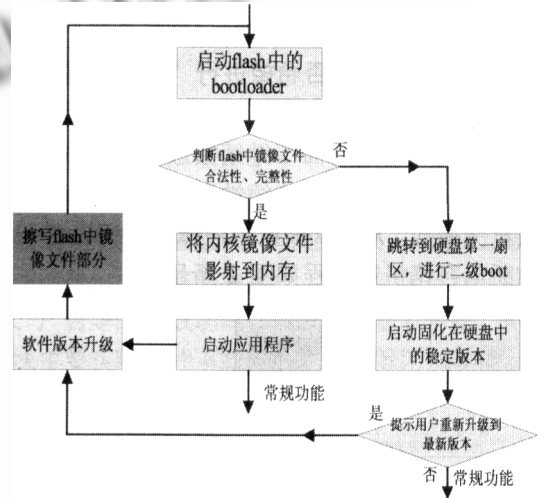


图 4 软件升级容错机制

正常情况下,flash 中的 bootloader 将检查镜像文件的魔数及校验和以保证镜像文件的合法性及完整性,将正确的镜像文件影射到内存,并启动应用程序。当需要软件升级时,将镜像文件下载至内存,并对 flash 中的镜像文件进行擦写覆盖。如果此时系统出现异常,将直接造成 flash 中镜像文件的损坏。再次启动时,loader 发现 flash 中的镜像文件异常,则将硬盘第一个扇区中的 bootloader 搬运到内存中运行,进行二级 boot。硬盘中的二级 bootloader 将硬盘中的内核镜像文件映射到内存中,并跳转到内核的入口点运行。固化在硬盘中的应用程序启动之后,将提示用户最新版本软件下载失败,由用户决定重新进行软件升级或运行旧版本的软件。

3.4 瞬时峰值容错机制

这部分可能出现的异常,主要是由少数瞬时码率峰值极高的片源造成的。经测试,少数片源瞬时码率

高达 50Mbps, 并且持续时间长达数十秒。对于 CPU 主频为百 M 量级 arm 芯片这是极大的考验。在高码率状态下, 可能会造成视频卡顿甚至停滞、音频不连续等情况。为了保证解码器的稳定性, 我们采用了建立音频帧池、监测解码器饥饿度和重启解码等策略, 可以解决瞬时峰值对于电影机的冲击。

保证解码器的饱和度, 提高磁盘 IO 速度是关键。有研究表明, 磁盘寻道是影响硬盘读写速度的主要因素^[6]。针对视音频数据分别位于不同文件的特点, 我们建立了音频帧池。如果简单的按照音视频交替读帧的策略, 磁头将在音视频文件所在的柱面间频繁切换, 严重影响磁盘读操作的效率。由于音频帧大小较小, 可以一次将多个音频帧读入帧池中, 并将帧池中的帧组织成为 FIFO 队列, 向解码器提供音频数据。这样可以大大降低磁盘寻道的时间, 从而提高磁盘读操作效率, 保证解码器的饱和度。

仅仅提高效率仍不足以保证解码器不出现异常, 为此我们按解码器的饱和度, 分为饱和态, 饥饿态和重度饥饿态, 如图 5 所示。当监测到解码器由饱和态转为饥饿态时, 启动应急机制, 减少其他非播放相关操作的资源占用。在播放模块内部, 降低播放进度记录频度(增大 T 值), 降低播放模块与主控模块的消息交互频度。附加功能模块将主控模块的指令入队列, 并暂停当前操作, 直到解码器恢复至饱和态。

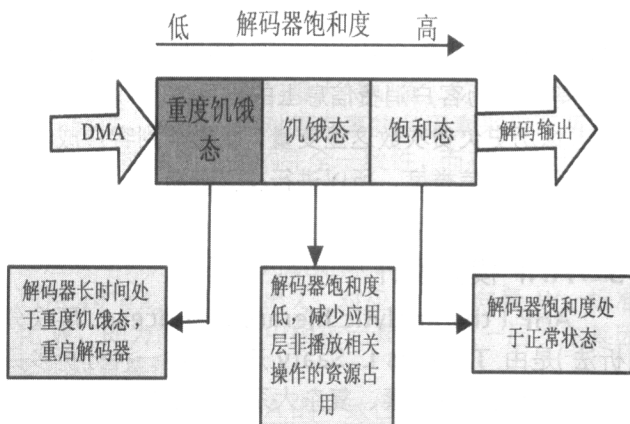


图 5 瞬时峰值容错机制

重启解码器的操作, 是解码器饱和度长时间处于重度饥饿态时采取的措施。这种情况是在高强度的产品测试中, 长时间反复播放高瞬时码率影片时出现的, 在正常使用中一般不会出现。但是长时间处于重度饥饿态表现为视频停滞, 音频不连续或无声, 观众观感较差。由于这种情况是一种累计效应, 多为磁盘、解码器过热或内存碎片过多造成的, 解决这一问题的最直接有效的方法就是重启解码器。为此引入了解码器重启机制, 首先记录当前播放进度, 释放解码资源, 暂停重启时间 T_c 之后, 重新申请解码资源, 并调整播放进度, 继续播放。为兼顾观众感官与解码器“休息时间”, T_c 控制在 4~6s 之间。

4 结束语

本文针对嵌入式的高清播放器研发测试中出现的播放断电、硬盘、软件升级和瞬时峰值等异常情况的原因和表现进行了总结归纳, 提出了解决方案并给出了实现流程。本文提出的综合性容错机制已经应用于相关产品中, 并通过批量测试和强度测试, 进入量产阶段, 取得了良好的效果。

参考文献

- 1 胡艳平, 樊滨温. 嵌入式硬盘用于数字机顶盒的关键技术. 中国有线电视, 2005, (23): 2288-2291.
- 2 吴丽彬, 王劲林, 李挺屹, 么刚, 胡建良, 孙鹏. 高清播放机顶盒通用型硬盘管理模块设计. 电视技术, 2007, 31(11): 35-37.
- 3 Love R, 陈莉君, 康华, 张波译. linux 内核设计与实现. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- 4 王恒, 王泉, 李勇. 基于 Bootloader 的可靠嵌入式软件远程更新机制. 微计算机信息, 2007, 23(7-2): 57-59.
- 5 胡海龙, 彭启琮. TMS320C6713 基于 DSP/BIOS 的二级 BootLoader 开发. 现代电子技术, 2005, 15: 74-75.
- 6 Bryant RE, O' Hallaron D. 龚奕利, 雷迎春译. 深入理解计算机系统. 北京: 中国电力出版社, 2004.