

海南大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名：肖勇

日期：2011年5月26日

学位论文版权使用授权说明

本人完全了解海南大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权海南大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。本人在导师指导下完成的论文成果，知识产权归属海南大学。

保密论文在解密后遵守此规定。

论文作者签名：肖勇
日期：2011年5月26日

导师签名：邱志贵
日期：2011年5月26日

本人已经认真阅读“CALIS 高校学位论文全文数据库发布章程”，同意将本人的学位论文提交“CALIS 高校学位论文全文数据库”中全文发布，并可按“章程”中规定享受相关权益。同意论文提交后滞后：☐半年；☐一年；☐二年发布。

论文作者签名：肖勇
日期：2011年5月26日

导师签名：邱志贵
日期：2011年5月26日

摘 要

随着数字处理技术,图像压缩技术及计算机技术等高科技的迅速发展,广播电视迈进了又一崭新时期—数字电视时代。在广播电视由模拟电视到数字电视的过渡阶段,一些发达国家和地区,如:欧洲,美国,日本等,相继确定了本国的数字电视标准。因此,研制数模一体机显得尤为重要。

数模一体机属于一种数字电视接收机,它不仅具有数字电视功能,还可兼容模拟电视;与模拟电视相比,数字电视具有信号质量高,抗干扰能力强,传输效率高,易于存储,容易实现加密/解密和加扰/解扰技术等优点。

论文首先分析 ATSC 标准的系统结构,针对 ATSC 的标准提出了一种新的液晶数模一体机的设计方案,并结合此课题所设计的数模一体机从硬件和软件上整体介绍了研发过程,由于本人在项目研发组中主要负责软件的应用开发,因此论文着重从软件体系上分析其结构,流程,以及各功能模块的实现。

论文采用 LGDT1111-T 和 ARK1839A 系统级芯片针对北美市场设计与实现了一款 7 寸的低成本,低功耗,体积小,重量轻的便携式液晶数模一体电视机。论文主要阐述了系统硬件设计的总体框图,工作原理以及整机结构,接着重点详细介绍了数字部分的软件体系(模拟部分不作重点介绍),以及设计过程应注意的细节,最后对系统的整体设计进行了总结和对未来地面电视接收机技术和市场进行了展望。

本应用设计已通过工程实践测试证明,达到了目前市场上数模一体电视机性能和功能的标准,能够满足客户的要求,实用性强,理论可靠,效果良好。

关键词: ATSC 数模一体机 嵌入式系统 地面广播

Abstract

With the high tech's rapid development of the digital processing technology, the image compression technology and the computer technology, the broadcast television has entered into the new times—Digital TV Times. Now, the broadcast television already entered into transitional stage from the analog TV signal to the digital TV signal. Some countries like US, Europe, Japan have determined those local digital TV standard one after another. Therefore, developing a digital-analog integrated TV appears especially important.

Digital-Analog integrated TV is one types of digital television, which not only has the digital TV function, but also compatible with analog TV. Compared with analog TV, digital TV has advantages of strong anti-interference, signal quality, good transmission efficiency, easy to storage, network, and implement encryption/decryption and scrambling/descrambling technology and so on.

The paper first analyzes the ATSC standard of the system structure, For the ATSC standard, proposal a new design for a LCD digital-analog integrated TV based on ATSC, and unified a digital-analog integrated TV which this topic designed introduced the research and development from the hardware and the software. Because I am primarily responsible for the software application development in the project development team, so the paper analysis it structure, program processes, and the implementation of various functional modules from the software system.

The paper work is focus on the design and Implementation of a 7-inch low-cost, low power, small size, light weight, portable digital-analog integrated LCD TV using ARK1839A and LGDT1111-T System on Chip for the U.S. market; Beginning with the system hardware design of the overall block diagram, flowchart, and the whole structure, then the key distinction in detail introduced the simulation part and numerical part's software system and deal process should pay attention to details, and finally a brief introduction of software architecture, the overall design of the system are summarized.

This application design through the project practice test proof, has achieved in the present market the digital-analog integrated TV performance and the function standard, can satisfy the customer's request, and it has the feature of usable, reliability theory, good effect.

Keywords: ATSC Digital-analog integrated television Embedded system
Terrestrial broadcasting

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 课题研究背景.....	1
1.2 数模一体机国内外的现状及发展.....	1
1.2.1 数模一体机特点.....	1
1.2.2 数字电视的国内外标准及其对比.....	1
1.2.3 数字电视的发展趋势.....	3
1.3 课题研究的目标、意义和主要内容.....	4
1.3.1 课题研究的目标和意义.....	4
1.3.2 课题研究的主要内容.....	4
2 ATSC 标准数字电视广播系统.....	6
2.1 ATSC 标准系统结构.....	6
2.1.1 A53B 标准.....	6
2.1.2 A65B 标准.....	7
2.2 MPEG-2 视频压缩编码.....	9
2.3 杜比 (Dolby) AC-3 音频压缩标准.....	11
3 数模一体机的总体方案.....	13
3.1 系统硬件设计概述.....	14
3.2 系统软件设计及开发平台.....	16
3.2.1 系统软件架构.....	16
3.2.2 软件开发平台.....	16
4 数模一体机的软件应用模块的设计和实现.....	20
4.1 嵌入式操作系统 μ C/OS-II.....	20
4.1.1 数字部分软件流程图.....	25
4.1.2 模拟部分软件流程图.....	26
4.2 软件系统中多任务实现和各模块状态关系.....	27
4.2.1 软件系统多任务实现.....	27
4.2.2 多任务各模块状态切换实现.....	29
4.3 IIC 总线技术和搜台换台原理.....	29
4.3.1 IIC 总线技术.....	29
4.3.2 高频头调谐原理和参数配置.....	31
4.3.3 搜台换台的工作原理.....	34
4.4 芯片间 UART 串口通信.....	36
4.5 OSD 的设计与实现简介.....	38

4.6 IR 的发送与接收.....40

 4.6.1 遥控码的分类和波形图.....40

 4.6.2 遥控器解码在软件中的实现.....41

5 数模一体机功能和性能的测试与分析44

6 总结与展望47

 6.1 全文总结.....47

 6.2 下一步工作展望.....47

参考文献.....49

硕士期间发表论文和参加科研情况51

后记.....52

1 绪论

1.1 课题研究背景

数字技术的日益成熟给人类带来许多的益处¹，它的应用已经快速的推进到人类的生活的各个领域，当今电视行业的主要发展方向由模拟电视转向为数字电视，并且和移动通信设备一样实现智能化，产业化，信息化，数字电视将不仅从技术上实现新一轮的革命，而且在用户体验上将给人们带来焕然一新的感觉，世界上各个主要的发达国家相关研发机构都致力于数字电视的研究和相关标准的制定，比如美国，欧洲，日本都有了自己的数字电视标准；在标准之上，各国的企业也将为电视技术的发展起着推波助澜的作用，在市场经济条件下，数字电视产业已经成为各个国家新的经济增长热点之一，许多的发达国家全面实现高清数字电视节目指日可待。在数字电视行业领域表现尤为突出的是数字电视地面广播技术领域，针对这一领域，在未来将有巨大的发展潜力^[1]。对于研制美国标准的地面广播数模一体机，一方面学习并掌握外国先进的技术，适应市场的发展趋势，另一方面有助于借鉴其成功的经验，挖掘我们自身的优势资源，建立合理的机制，最终目的是快速推动我国电视事业的健康持续发展。

1.2 数模一体机国内外的现状及发展

1.2.1 数模一体机特点

数模一体机是指同时可以接收数字电视信号和模拟电视信号的接收机，它能提供高清晰度画质，高质量的声音效果^[3]。目前在国内比较流行的做法是将正在使用的模拟电视机（只能接收模拟电视信号）配上一个机顶盒（能够接收数字电视信号）就能观看数字电视节目了，但是这种做法操作十分繁琐，实现起来比较麻烦，而数模一体机是将模拟信号接收系统和数字电视接收系统集成在一起，通过统一的菜单 OSD (On Screen Display Menu) 就能实现对电视机控制，与机顶盒相比效果更好，操作更方便，更简单。如今，世界上许多的国家还存在模拟电视信号，所以在模拟电视信号没有停播之前，模拟和数字电视信号依然会并存一段时期，在这段过渡时期，数模一体机将会是用户最佳的选择^[4]。

1.2.2 数字电视的国内外标准及其对比

进入 21 世纪以来，世界上已经形成了四大不同的地面数字电视广播传输标准，

¹ 海南大学 211 工程中央专项资金项目 (The 211 Project Central Special Fund of Hainan University).

他们分别为:美国的 ATSC (Advanced TV Systems Committee, 高级电视系统委员会) 标准,其地面数字电视广播已全面开播^[5]; 欧洲的 DVB-T (Digital Video Broadcasting) 标准^[5]; 日本的 ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting) 标准^[5]; 中国的 DMB-TH (Terrestrial Digital Multimedia TV/Handle Broadcasting) 技术, 其主要核心技术: 来自于清华大学地面数字电视方案 DMB-T, 同时也融合了上海交大 ADTB-T 方案中的某些技术, 但还未广泛应用和推广^[6], 国内目前很多地区仍然采用欧洲的 DVB-T 标准, 因此在如表 1-1 的对比当中并没有将我国的标准纳入对比范围内。由表 1-1 可以看出, 三大标准的主要区别在于地面广播技术上调制方式的不同, 欧洲 DVB 标准采用 2k/8k COFDM 调制方式; 日本 ISDB 标准采用分段的 COFDM 调制方式; 而美国 ATSC 标准采用 8VSB/16VSB 调制方式; 音频编码方面美国采用 AC-3 压缩编码, 而其它采用 MPEG-2 编码。

表 1-1 三种比较成熟的数字电视标准对比^[7]

标准体系	ATSC (美国)			DVB (欧洲)			ISDB (日本)		
传输途径	地面	卫星	有线	地面	卫星	有线	地面	卫星	有线
调制方式	8VSB	QPSK	QAM 或 VSB	2k/8k COFDM	QPSK	QAM	分段 COFDM	QPSK	QAM
视频编码	MPEG-2			MPEG-2			MPEG-2		
音频编码	AC-3			MPEG-2			MPEG-2		
复用方式	MPEG-2			MPEG-2			MPEG-2		

美国的 ATSC 制高清晰度数字电视标准于 1996 年成为美国国家标准, 其最初的目的是固定接收地面广播和有线传输, 并没有对移动便携设备接收的支持, 其特点是: 能够抗静态多径, 脉冲干扰; 不能兼容单频网; 能兼容 SDTV/HDTV; 在硬件上容易实现; 系统成本相对较低。但发展到至今, 已出现能够支持此标准并能在高速移动的接收模组 M/H。ATSC 采用两种 VSB 数字调制模式: 地面广播的 8VSB (8 电平残留边带调制) 和有线高速数据传输的 16VSB 模式, 两者的不同点在于传输电平数目、NTSC 干扰抑制滤波器方法和在地面广播系统中的格状编码。ATSC 制卫星传输采用 PSK(相位键控调制), 有线传输一般采用 64-QAM 和 256-QAM(64 级和 256 级的正交调幅)。目前有许多国家都采纳了这一标准, 诸如美洲的加拿大、墨西哥、阿根廷, 亚洲的韩国, 还有新加坡等等。关于 ATSC 标准的详细内容在本文的第二章进行了详细介绍说明。

欧洲的 DVB 制式是由众多国家参与研制的, 迄今为止包括 25 个国家 200 多个组织, 因此其应用也是最广泛、最灵活的^[32]。DVB 首先制定的是卫星数字电视标准 (DVB-S), 然后是有线电视广播标准 (DVB-C), 最后才是地面广播电视标准

(DVB-T)。这三标准的视频编码和音频编码都是 MPEG-2 编码标准 (如表 1-1 所示)。然而澳大利亚的采用 DVB-T 制时, 音频采用的是 AC-3 标准的音频, 因此严格的说, DVB 标准中也吸纳了 AC-3 标准, DVB 制涵盖了众多的视频格式, 面向了各种不同的应用类型, 主要是 25Hz 帧频和 30Hz 帧频, 包括逐行扫面和隔行扫面。。DVB-T 支持便携接收, 但对高速移动接收的效果也不好, 采用多载波频分复用技术 COFDM(编码正交频分复用), 分为 2k (1705 个载波) 和 8k (6817 个载波) 两种模式; 系统抗静态和对态多径的干扰, 能兼容单频, 但硬件实现较 ATSC 复杂, 成本也相对较高。DVB 数字广播系统除传送、视频、音频信号外, 还可传送综合接收机解码器 IRD (Intergrated Receiver Decoeer) 调谐、节目指南、图文图标、字幕等信息。

ISDB-T 和 DVB-T 非常类似, 编码方式和调制方式基本相同, 不同的是 ISDB 增加了分段接收和分层传输的功能。分段接收主要解决宽带和窄带业务的同时接收问题^[30], 系统将整个 6MHz 带宽分为 13 段, 每段 423kHz。固定和车载移动主要接收 6Mhz 的全带宽信号; 而小型便携接收机主要接收窄带 423kHz 的信号, 但实际上由于带宽较窄, 接收条件较差, 所有只能用于音频广播和数据的接收。

与发达国家相比, 虽然我国数字电视发展起步较晚, 但发展速度较快, 而且我国政府也非常重视数字电视产业的发展, 我国已初步建立了数字广播电视标准体系。GB20600-2006《数字电视地面广播传输系统帧结构、信道编码和调制》, 这一标准体系被称为 (Terrestrial Digital Multimedia TV/Handle Broadcasting) DMB-TH, 于 2006 年 8 月 30 日由国家标准化管理委员会发布公告, 2007 年 8 月 1 日正式实施。标准融合了包括清华大学 DMB-T 技术, 上海交大 ADTB-T 技术和广科院等多方的研究成果, 采用 TDS-OFDM (Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 时域同步正交频分复用调制技术, 同时提供单载波和多载波两种技术可选, 其移动接收灵敏度比欧洲方案好很多, 覆盖范围广阔, 接收性能好, 抗干扰能力强; DMB-TH 采用了全新的纠错编码技术—前向纠错编码技术 (LDPC), 获得了比 ATSC 更好的系统误码性能, 因其信号帧结构的特性, 能够支持更多的业务广播。

1.2.3 数字电视的发展趋势

电视数字化是电视发展史上又一次重大的技术革命, 数字电视不但是一个标准、设备和节目源生产等多个部分相互支持和匹配的技术系统, 而且将对相关行业产生影响并促进其发展, 在数字电视整体转换进程中, 数字一体机将会取代机顶盒逐渐成为业界共识, 未来的广播电视将逐渐转移到宽带 IP 网上进行, 广播电视数字化发展的大趋势是采用三网融合技术 (广播电视网和 Internet 网, 通信网的融合) 产生的信息家电 (包括机顶盒在内) 将取代模拟电视成为家庭信息终端。未来的家庭数字电视不仅可以收看电视节目, 而且还可以视频、互动、上网等功能^[12]; 高清节目覆盖范

围将会大面积扩大,数量上也会增多,更多的消费者可以欣赏到更多的高清节目频道。

1.3 课题研究的目标、意义和主要内容

1.3.1 课题研究的目标和意义

本论文是笔者在深圳泰霖科技有限公司实习期间,参与了 ATSC 制数字一体机(北美机)相关功能的软件设计与实现的基础上撰写完成的。由于数字电视地面广播技术越来越成熟,欧美市场对于小尺寸、便携式数模一体电视机的需求也正在迅速的发展,因此数模一体机、高清数字电视机的市场前景非常广阔。本论文的研究重点:分析 ATSC 地面数字电视广播标准并设计和实现 ATSC 接收机,以及详细介绍软件体系设计原理。

本文结合笔者在使用 ARK1839 和 LGDT1111-T 主芯片开发 ATSC 接收机过程中的心得体会,结合 UC/OS-II 实时多任务操作系统,浅谈数字电视接收机软件应用开发的经验,开发方法以及几个主要模块的实现。该项目的完成从理论基础和实践经验上都将为今后数字电视地面广播技术进一步的发展提供参考和借鉴。目前该产品功能和性能稳定可靠,已经批量投入市场,客户反映良好。

1.3.2 课题研究的主要内容

笔者在此项目主要负责软件应用层的研发工作,因此本论文主要从软件层次逐一阐述 ATSC 带操作系统的软件和 NTSC 不带操作系统的软件的研究与设计实现,此电视接收机方案相对于其他的同类产品来说有很强的性能和价格优势,方案硬件的核心部分由两块 IC 组成,一块是深圳艾科创新微电子有限公司的 ARK1839A,它是一款高集成度的视频显示控制系统级芯片,能够驱动模拟 LCD/TFT 液晶显示屏显示,有极其广泛的应用,为用户提供了高性能的设计,内置了许多模块;另一块是韩国 LG 电子公司的 LGDT1111-T,它集成了 VSB 和 QAM 解调器,系统解码器, MPEG-2 MP@HL 视频解码器,杜比 AC-3 音频解码器,视频格式转换器, NTSC 视频编码器, 2D 图像处理器和 ARM926EJ-S 作为主控制器,它需要一个 16Mb 或者 32Mb 的 DDR SDRAM 作为外部存储器,能够应用于低功耗的 DTV 机顶盒, LCD TV, PDP TV, CRT TV, 和商务 DTV 等等,这两块芯片通过 UART 口通讯。由这两块核心 IC 再加上一些外围电路和电源管理电路设计出硬件平台,在此之上是硬件驱动和 UC/OS-II 实时嵌入式操作系统,以及中间件 API,在 API 的基础上实现应用程序的开发,实现搜台换台管理,电子节目导航 EPG (Electric program guide), 图形用户界面 GUI (Graphics User Interface), 遥控接收等等功能。

论文分为六个章节,主要内容如下:

第1章是本文的绪论部分，主要是对课题研究背景，数字一体机国内外的现状及发展，课题研究的目标、意义和主要内容介绍；

第2章详细介绍了 ATSC 标准数字电视广播系统，包括 ATSC 标准系统结构，视频编码和音频编码以及传输系统；

第3章介绍了 ATSC 数字一体机的总体方案，简要介绍硬件结构和流程，和软件开发平台搭建和配置，重点介绍软件系统架构，包括模拟部分和数字部分；

第4章是本论文的重点核心部分，实现了 ATSC 数模一体机的各个主要应用模块，包括嵌入式操作系统 uC/OS-II 的介绍，软件系统中多模块的实现和多状态之间的关系，I2C 总线技术，搜台换台实现，芯片间通信，OSD 的设计与实现，IR 发送与接收原理等等；

第5章对 ATSC 数字一体机进行功能和性能的测试与分析；

第6章对全文进行总结和展望，并分析设计中的不足和今后努力的方向。

2 ATSC 标准数字电视广播系统

2.1 ATSC 标准系统结构

ATSC (Advanced TV Systems Committee) 是美国先进电视制式委员会, 也是数字电视广播标准系统制式之一, 它包括地面, 有线, 卫星数字电视 SDTV (标准清晰度数字电视) 和 HDTV (高清晰度数字电视) 制式^[12]。

ATSC 数字电视标准由 4 个清晰界面的分离层级组成, 最上层为视频层, 主要是确定视频格式, 包括图像分辨率, 帧频和宽高比; 第 2 层为视频压缩层, 采用 MPEG-2 标准的视频压缩算法; 第 3 层为系统复用层, 不同的数据 (如节目 1 音频, 节目 2 视频, 或者辅助数据) 被纳入特定的压缩包中, 采用 MPEG-2 标准, 最底层是传输层, 确定信道编码方案和数据传输的调制方式^[13]。ATSC 标准的一些列文件包括: 数字音频 AC-3 压缩标准 (A52A), ATSC 有线和地面广播数字电视标准 (A53B), 地面广播和有线电视节目系统信息协议 (PSIP) (A65B), 卫星数字电视的调制和编码要求 (A80), 数据广播标准及实现指南 (A91), 传输流文件系统标准等等; 并且包含相应的使用实时指南: 数字电视标准的使用指南 (A54), 数据广播标准的实现指南 (A91), ATSC 数据应用参考模型 (A94) 等等, 总体来说, 其内容涵盖了: HDTV (高清)、SDTV (标清) 清晰度电视、数据广播、多声道环绕立体声以及卫星直播等方面, 其特点是: 强调数据容量和覆盖范围, 侧重于地面广播^[13]。以下重点介绍其中的 A53B 标准和 A65B 标准。

2.1.1 A53B 标准

A53B 标准^[14] (ATSC Digital TV Standard), 译为: ATSC 数字电视标准, 由概论 A/53 标准基于 MPEG-2 视频标准、MPEG-2 系统层标准和 AC-3 数字音频压缩标准, 描述了 ATSC 电视系统的特性及系统参数规范。

A53B 标准主要针对于地面广播的数字电视标准, 描述了在 8-VSB 调制方式下, 6MHz 地面数字电视广播频道上实现 19.3Mbit/s 的传输速率, 正好可以用 6MHz 频带传送一路 MPEG-2 编码的 HDTV 信号; 或者在高速数据率 16-VSB 调制模式下, 可在 6MHz 的有线信道中实现 38.6Mbit/s 的传输速率; 根据其分层结构, 由系统复用层和传输层共同实现数据的传输, 由前两层确定 ATSC 标准的图像分辨率和扫面方式, 总共有 18 种格式, HDTV6 种, SDTV12 种。

如图 2-1 ATSC 制数字电视地面广播系统发送端模型所示, ATSC 制的系统结构由三个子系统构成, 它们是: 信源编码和压缩; 业务复用和传输; 射频发送;

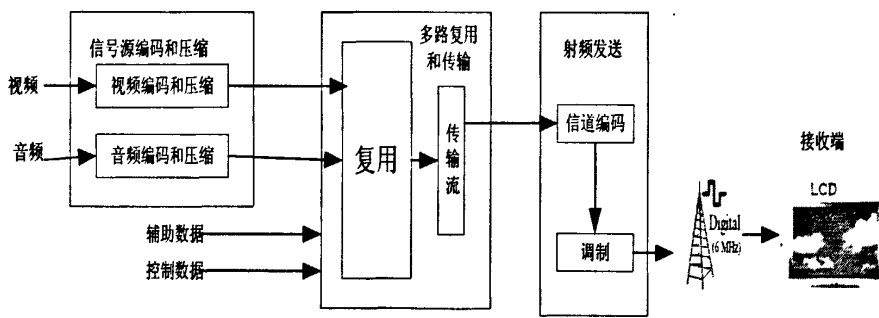


图 2-1 ATSC 制数字电视地面广播系统发送端模型

(1) 信号源编码和压缩

编码和压缩的目的是减少信息的比特率，将在原有的带宽的频道基础上传输信息量约为 5 倍的 HDTV 节目信息，这些信息包括音频，视频，辅助数据（控制数据，条件数据，独立节目信息）以及节目服务相关信息，ATSC 系统音频压缩编码采用 Dolby AC-3 标准（比特率约为 384kb/s），视频压缩编码采用 MPEG-2 标准（HDTV 比特率约为 19Mb/s）。

(2) 业务复用和传输

指的是把不同信息类型的比特流分组打包，并给各个包或者包的类型赋予唯一的标识符；分组打包后即产生音频比特流包，视频比特流包，辅助数据比特流包，这些包将被复用器采用时分多工方式复用到单一的比特流中，简称 TS 流（Transport Stream Packet）。由于 ATSC 的 TS 流包采用了 MPEG-2 标准的打包和复用语法，但并没有完全实现 MPEG-2 的标准，因此实际上任一 MPEG-2 解码器都能解码 ATSC 传输包，反之则不然。MPEG-2 压缩编码相关内容将在后续章节中介绍。

(3) 射频发送

指的是对 TS 流信道编码和调制，形成用于发送的射频信号。由于信号在物理信道中的传输会受损，信号接收机接收到的信号不能精确的重构发送端发送的信号，因此要通过信道编码器加入一些附加信息并对其进行数据处理，这样才用可能在接收端将信号较好的解码得到与发送端同样的图像和伴音，即恢复发送数据信息。调制系统有两种工作模式：8VSB 地面广播模式和 16VSB 高速数据率模式，这在前面已经介绍过，在此不赘述。

2.1.2 A65B 标准

A65B 标准^[15]全称是地面广播和有线电视节目系统信息协议（PSIP: Program and System Information Protocol for Terrestrial Broadcast and Cable），定义了一些按层次分布的相关联的表集。这些表主要包括：系统时间表（STT: System Time Table）、分级

区域表 (RRT: Rating Region Table)、主节目指南表 (MGT: Master Guide Table)、虚拟频道表 (VCT: Virtual Channel Table)、事件信息表 (EIT: Event Information Table)、扩展文本信息 (ETT: Extension Text Table)。这些表的信息都包含在 TS 流中。

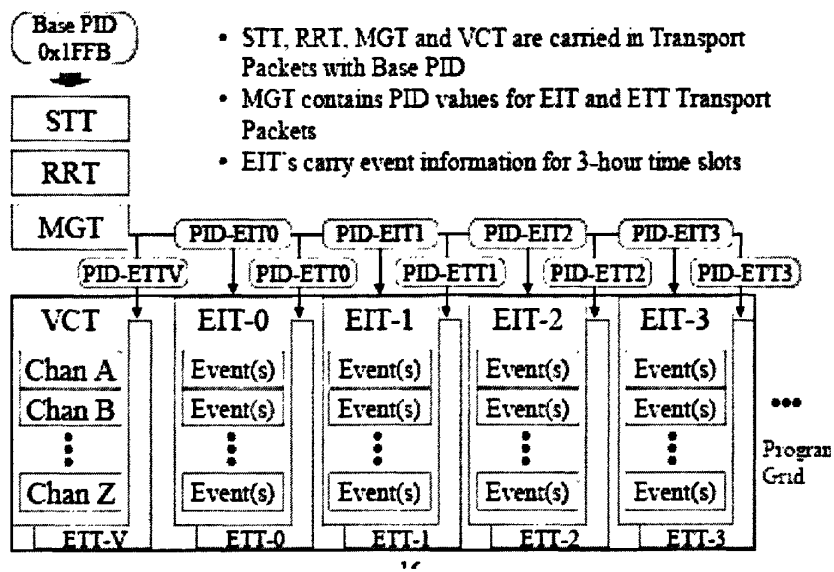


图 2-2 PSIP 表的整体结构

STT 表向接收方提供时间日期信息；

RRT 表是一个固定的数据结构，内容一般是固定的，主要定义对不同的国家和地区的分级方法，RRT 表是可选的，由政府部分决定是否要此表；

MGT 表主要用于描述其他表的内容版本号、表长度和包标识符（PID）。可以不断通知解码器其他表（除了 STT）的情况，所有数字电视接收机必须实时监控此表以便更新。MGT 表可加入一些描述子，作用是在不改变 MGT 表的基本结构前提下，把以后要做的变动包括进来；

VCT 表包括了一系列在线频道及其描述属性：频道名，导航标识，流成分和类型。表中有用于频道标识的主频道号和副频道号，前者是将某广播服务公司的所有频道变为一组分配一个标识号，后者是频道组中的某一特定频道。源标识符号表示一个特定的逻辑频道。事件信息表（EIT）和扩展文本表利用此标识符提供相应的事件和文本信息；

EIT 表根据预设的时间窗口列举 VCT 表中的所有频道对应的事件，带有针对每个虚拟频道的节目调度信息。用户可以为 EIT 表自由的选择唯一的 PID 值，在 ATSC 标准中，电视节目被称作事件。每一个 EIT 都包含了 3 小时的节目跨度，针对每个节目源都提供了：事件标题，事件起始时间，事件持续时间，描述文本指针以及其他可选的节目内容咨询数据，字幕业务，音频描述子。供不同的 EIT 表有不同的 PID 值。这些值在 MGT 中有定义；

ETT 表提供虚拟频道和事件的扩展信息。

如图 2-2 PSIP 表的整体结构，各个表之间的关系：STT，RRT，MGT，VCT 都承载于带有基本 PID(0X1FFB)的 TS 包内；MGT 中包含了 EIT 和 ETT 传输包的 PID 值；EIT 表承载了 3 小时间隔的事件信息。

2.2 MPEG-2 视频压缩编码

ATSC 标准是采用 MPEG-2 数字视频压缩标准。运动图像专家组 MPEG (Moving Picture Experts Group)，是 ISO (国际化标准化组织) 和 IEC (国际电工委员会) 的一个工作组，所制定的 MPEG-2 标准是一个世界统一的标准，广泛用于数字电视，数字声音广播，数字图像和声音信号的传输领域。由于模拟信号数字化需要将模拟信号采样、量化、编码处理所产生的数据量非常大，这些数据对传输带宽、频谱资源利用率、传输处理能力等要求非常之高，实现起来非常之难，因此，该专家组为了提高频谱资源利用率，缩减存储，传输和处理的数据量^[16]，采用了基于帧内图像相邻像素之间及相邻行间的空间相关性和相邻帧间运动图像的时间相关性的压缩编码技术，去掉那些对人耳听觉和人眼视觉不太重要的声音和图像的冗余部分，使数字化真正变为现实。

MPEG-2 标准包含 3 个部分，包括系统部分 (编号为 ISO/IEC IS 13818-1)、视频部分 (编号为 ISO/IEC IS 13818-2)、音频部分 (编号为 ISO/IEC IS 13818-3)。以下主要介绍前两部分^[16]。

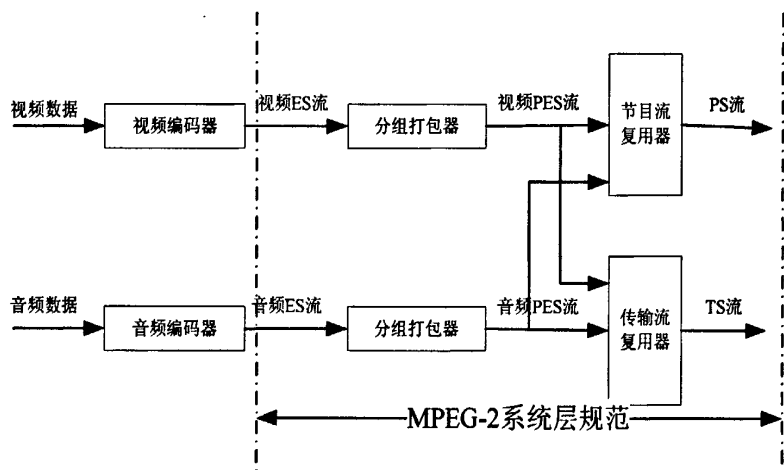


图 2-2 MPEG-2 标准系统层框图

(1) 系统部分

系统部分的主要作用是将一个或者多个声音、图像及其他相关数据的基本码流组合成单一或者多个码流，使之便于存储和传输。如图 2-2 MPEG-2 标准系统层框图，音频和视频原始数据各自经过音频编码器和视频编码器，得到音频 ES 流和视频 ES 流(ES, Elementary Stream, 基本码流)。压缩后的基本流与系统信息一起进入 MPEG-2 系统层，首先分组打包成音视频 PES (Packetised Elementary Streams, 打包基本码流)，

然后这些码流经由传输流复用器或者节目流复用器组合形成 TS 流 (Transport Stream, 传送流) 或者 PS 流 (Program Stream)。这种方法叫打包多工方式。对于系统编码规定的两种方式: 节目流和传送流, 它们的分组打包过程类似, 都是将连续的 ES 流分组打包成一个一个数据包, 每个数据包都有一定的格式, 并附加了一些标志位和相关控制信息, 音频 PES 流和视频 PES 流再通过复用器组合成相应节目码流或者传输码流; 两者的区别在于传输码流的包长固定为 188 字节, 而节目码流的包是可变长的, 相对较长; 另外, 它们分别使用于不同的应用, 传送码流设计用于由误码的环境, 节目码流用于相对无误的环境当中, 适合支持节目信息的软件处理应用以及多媒体应用。

(2) 视频部分

MPEG-2 开发了通用的码率压缩编码方法和以“档次”(Profile)和“等级”(Level)规范化的全系统。共有 4 个等级和 5 个档次, 但不是所有的组合都存在, 主要有 11 个组合。如表 2-1 档次与等级的组合, 表格当中包含对应的亮/色取样方式、编码方式、传输速率及像素数等参数。

表 2-1 档次(Profile)和等级(Level)的组合^[16]

档次 等级	简单	主类	SNR	Spatial	高类
Simple	Main	Scalable	Scalable	High	
高 1920 级 1920×1080×30 1920×1152×25		4:2:0 I,P,B 80Mb/s			4:2:2,4:2:0 I,P,B 100Mb/s
高 1440 级 1440×1152×25 1440×1080×30		4:2:0 I,P,B 60Mb/s		4:2:0 I,P,B 60Mb/s	4:2:2,4:2:0 I,P,B 80Mb/s
主级 720×576×25 720×480×29.97	4:2:0 I,P,15M/s SP@ML	4:2:0 I,P,B,15M/s MP@ML	4:2:0 I,P , 15M/s SNP@MP		4:2:2,4:2:0 I,P,B,HP@ML 20Mb/s
低级 352×288×29.97		4:2:0 I,P,B 4Mb/s	4:2:0 I,P,B 4Mb/s		

同时, MPEG-2 中采用了多种码率压缩技术^[17]:

①利用运动补偿预测编码方法去掉电视图像信号的时间冗余信息。

②利用离散余弦变换 (DCT), 去掉经过运动补偿预测的图像差信号中的空间冗余信息。

③利用可变长度编码技术，对运动矢量和 DCT 变换的系数进行编码，以达到充分利用通道带宽的目的。

2.3 杜比 (Dolby) AC-3 音频压缩标准

AC-3 (Audio Coding-3) 环绕立体声技术是一种数字音频压缩编码技术，它具有高品质、多声道的特点，它不仅能提供 CD 质量的音频，而且具有高压缩比，它是由美国 DOLBY 实验室与日本先锋公司合作并在 AC-1, AC-2 的基础之上于 1992 年开发出来的，1995 年由美国联邦通信委员会 (FCC) 确定其为 ATSC 的音频压缩标准。

AC-3 又称为 5.1 声道，它将 20Hz 到 20KHz 的全频道声音划分为 5 个声道，它们分别是：前方左 (L)，右 (R)，中 (C) 三个声道，后方的左后 (LS)，右后 (RS) 两个独立的环绕声道，为了弥补低音的不足，AC-3 还提供了一个 120Hz 低频效果声道 (LFE: Low Frequency Effect)。前三个声道的作用是确保相对于前面屏幕画面的有效方向的稳定性和透明度，有一个稳定的声扬中心，保证任意分布的听众都可以听到声音；后两个声道的作用是提供很大的最佳视听区；LFE 声道则是为了增强声音的表现力^[18]。

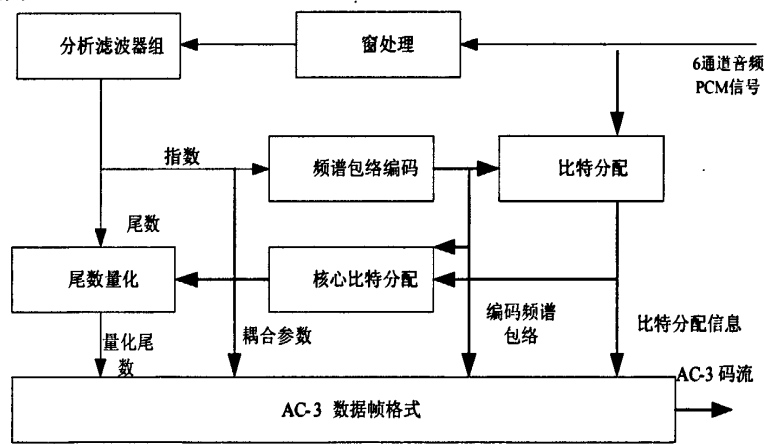


图 2-3 AC-3 编码器原理框图

图 2-3 为 AC-3 编码器原理框图^{[2][18]}。AC-3 编码器接收标准 PCM 音频数据，输出标准的 AC-3 压缩比特流；具体编码过程是：PCM 信号通过窗处理和分析滤波器组的处理，把时间域内的 PCM 样值变换为频域内成块的一系列系数。每块包含 512 个样值点，其中有一半的样值点（也就是 256 个）在连续的两个块中是重叠的，因此，可以将变换系数的一半去掉，而变成每块只有 256 个系数，每个系数由一个二进制的指数和一个尾数构成，即二进制的指数形式表示。指数集合反映了信号的频谱包络信息，对其进行编码后可以粗略的代表信号的频谱，然后由此决定尾数的比特数。如果最终信道传输码率很低而导致 AC-3 编码器的溢出时，编码器会自动采用高频系数耦合技术继续降低码率。最后将 6 块的频谱包络、量化的尾数以及其他相应的数据组成

AC-3 数据帧，连续的帧构成了 AC-3 码流。

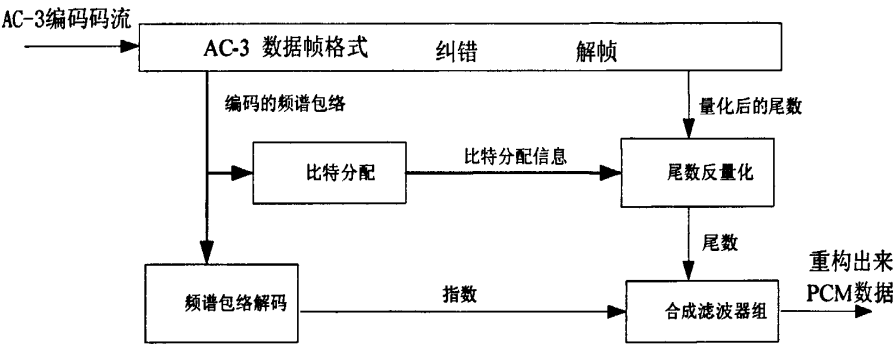


图 2-4 AC-3 解码器原理框图

图 2-4 为 AC-3 解码器的原理框图^{[13][19]}。AC-3 解码器的解码原理与 AC-3 的编码器原理相反，AC-3 解码器首先必须与编码的数据流同步，经纠错和解帧后并从码流中分离提取出各种数据，比如：编码的频谱包络，量化后的尾数信息，控制信息和系统配置参数等等，由频谱包络产生比特分配信息，对量化后的尾数进行反量化，另一方面对频谱包络解码，恢复出变换系数的指数和尾数，最后经过合成滤波器组的合成由频域表示变换为时域表示，最终重构出 PCM 样值数据。

3 数模一体机的总体方案

地面广播数字电视接收机的一般原理如图 3-1，调制信号到达接收端，由高频调谐器接收后，先进行信道解调形成基带传送流（Transport Stream，简称 TS 流），然后进行解复用，形成音视频打包基本数据流（PES 或 ES），再分别解码，最后输出音频和视频信号^[20]。

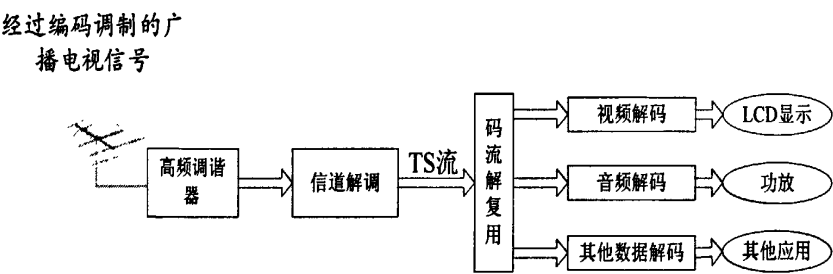


图 3-1 数字电视接收机的基本原理

数模一体机软硬件层次关系示意图如图 3-2，该模块用了一种基于分层结构的总体架构^[21]，总共分为 5 个主要层次，从底层到顶层依次是硬件层、操作系统层、硬件驱动层、应用层 API 和用户应用层，其中后 4 层属于软件层。

硬件层是一套硬件系统的物理硬件，包括高频头，解调、解码芯片，CPU，电源管理芯片以及各个通道的物理接口等等；实时操作系统层（本方案采用 uC/OS 实时嵌入式操作系统）主要完成多任务（进程）的管理和调度工作，包括与底层硬件交互的内核，中断处理，时钟操作，内存管理，多任务间的通信与同步等功能；硬件驱动层通过实时操作系统对硬件层直接进行控制，它里面有各种硬件接口以及 CPU 各接口模块的底层操作，还包括各硬件所对应的驱动软件和各种可编程芯片的底层驱动；应用层 API 为用户提供了许多应用程序接口，这些接口对硬件设备进行管理，可以说它是应用程序和硬件驱动层之间沟通的桥梁；用户应用层是数字电视软件中的非常重要的一层，对与应用程序开发人员来说，大部分的工作都将在这一层完成，这里包括了与硬件无关的操作（比如 PROGRAM 数据库的处理），也包括与硬件有关的操作（比如 OSD 功能的实现），这部分既能体现接收机的主题风格，又能显示出软件开发的个性和创意，应用软件的可塑性和灵活性极强。

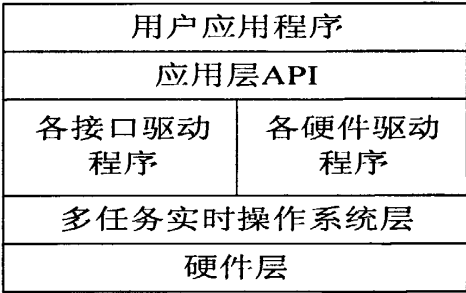


图 3-2 数模一体机软硬件层次关系示意图

3.1 系统硬件设计概述

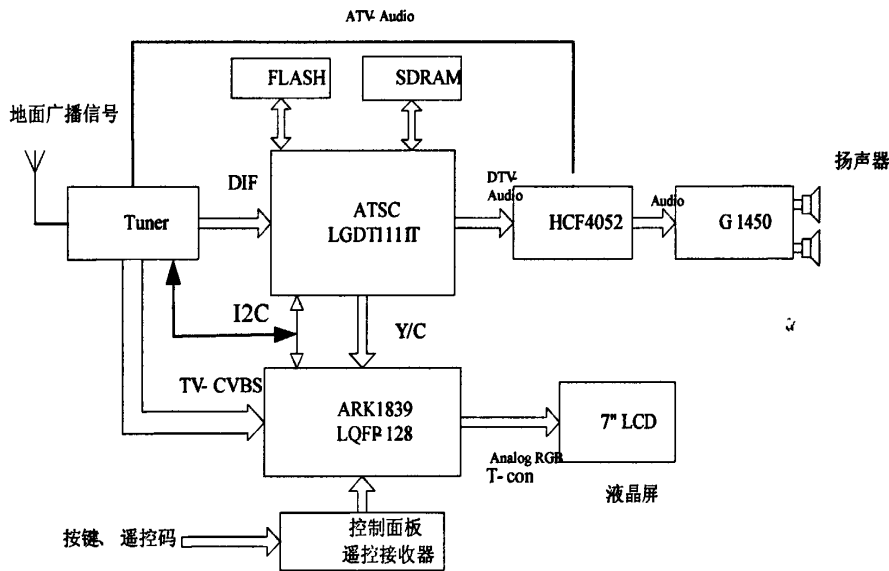


图 3-3 数字一体机硬件系统框图

如图 3-3 数模一体机硬件系统框图所示，此电视接收机方案相对于其他的同类产品来说有很强的性能和价格优势，硬件系统基于韩国 LG 公司的片上系统级芯片（SOC）LGDT1111-T 和深圳艾科深圳艾科创新微电子有限公司的 ARK1839 为核心组成。

硬件主要由以下几部分组成：

- 数字信号处理芯片 LGDT1111-T，完成数字信号的解调和解码
- 模拟信号处理芯片 ARK1839，完成模拟信号的解码，以及屏驱动
- 高频头（Tuner），用于接收 N 制和 A 制的射频信号，输出模拟和数字中频信号
- 存储器（FLASH 和 SDRAM），用于存储代码和数据，用户参数，基本配置，频道信息
- 复用通道（HCF4052），用于模拟音频信号和数字音频信号通道的转换

- 音频功率放大器 (G1450), 驱动扬声器发声
- 显示器 (7 寸 LCD) 和扬声器, 用于显示视频图像和播放声音

1、LGDT1111-T^[22]

LGDT1111-T 集成了 VSB 和 QAM 解调器, 系统解码器, MPEG-2 MP@HL 视频解码器, 杜比 AC-3 音频解码器, 视频格式转换器, NTSC 视频编码器, 2D 图像处理器和 ARM926EJ-S 作为主控制器, 它需要一个 16Mb 或者 32Mb 的 DDR SDRAM 作为外部存储器, 能够应用于低功耗的 DTV 机顶盒, LCD TV, PDP TV, CRT TV, 和商务 DTV 等等。

2、ARK1839^[23]

ARK1839 是一款高集成度的视频显示控制系统级芯片, 能够驱动模拟 LCD/TFT 液晶显示屏显示, 有极其广泛的应用, 为用户提供了高性能的设计, 内置了许多模块, 比如: 视频解码 (video decoder), TCON, 8 位的 MCU, RGB 放大输出, DC/DC, DC/AC, VCOM 等等, 它与 LGDT1111-T 通过 UART 串口通讯。

3、存储芯片

SDRAM: Synchronous Dynamic Random Access Memory, 同步动态随机存储器 (也称为内存), 同步是指 Memory 工作需要同步时钟, 内部的命令的发送与数据的传输都以它为准; 动态是指存储阵列需要不断的刷新来保证数据不丢失; 随机是指数据不是线性依次存储, 而是自由指定地址进行数据读写, 它是与 CPU 进行沟通的桥梁, 所有程序的运行都是在此执行的, 暂时存放 cpu 运行的数据以及与外存交换的数据。

Flash (也称为外存) 的特点是在不加电的情况下能长期保持存储的信息。就其本质而言, Flash Memory 属于 EEPROM (电擦除可编程只读存储器) 类型。它既有 ROM 的特点, 又有很高的存取速度, 而且易于擦除和重写, 功耗很小; 软件的 bootloader, 和内核, 操作系统程序代码就存储在 flash 当中。

4、信号流程

高频信号 (ATSC 制或 NTSC 制) 经由天线进入 TDVW_104F 模数一体化高频头 (Tuner) 处理后输出中频 IF 信号, 分两路: 一、如果是数字中频信号 (DIF), 则进入 LGDT1111-T 解调和解码, 输出视频亮色分离 (Y/C) 信号送入 ARK1839A 芯片处理后输出模拟 RGB 信号和行场同步信号驱动模拟液晶屏显示重建后的图像, (ATSC-AUDIO) 音频信号送入复用器 HCF4052, 最后经过功率放大器 G1450 驱动扬声器发声; 二、如果是经高频头内部解调器解调后的模拟彩色全电视信号 (TV-CVBS) 则进入 ARK1839 解码, 最后输出模拟 RGB 信号和行场同步信号驱动模拟液晶屏板显示, N 制音频信号经由 HCF4052, 再到功率放大器 G1450, 驱动扬声器发声, 输出重建后的声音。

5、方案实现的功能

此方案能够接收模拟 (美国 NTSC 制式) 和数字 (美国 ATSC 制式) 电视信号,

支持无线（AIR）和有线（CABLE）信号的接收；支持 3 种以上的语言（英语，法语，西班牙语等），有两路输入通道（TV 和 AV），一路输出（耳机），画面比例转换功能（16：9，4：3），EPG（电子节目导航），数字 CCD 字幕，V-CHIP（美国电视节目分级标准），自动搜台提示，有密码锁功能，支持美国立体声。

3.2 系统软件设计及开发平台

3.2.1 系统软件架构

应用层	应用程序(Application)	
API 层	ATSC API	
	核心模块(API)	
驱动及操作系统层	uC/OS-II	
	驱动资源模块	驱动资源模块

图 3-4 系统总体软件架构图

图 3-4 所示，系统总体软件架构图，软件中最底层是驱动层，负责和硬件直接通信，并且对硬件部分初始化和控制其基本功能的正常的运行实现；驱动资源模块的上一级是操作系统层（不同的领域有不同的划分，在此将它们做为同一层），此平台的操作系统是采用 uC/OS-II 基于优先级调度的抢占式的实时嵌入式操作系统，内核所占空间小，能够实现多任务，占用 CPU 资源少，性能好；中间层是 API 层，提供一些核心模块的 API 和 ATSC 模块标准 API 供应用层使用；最上层是应用层，这一层的任务是调用 API 层提供的接口函数编写应用软件，在操作系统的配合下，间接控制硬件系统实现用户所需要的功能。

3.2.2 软件开发平台

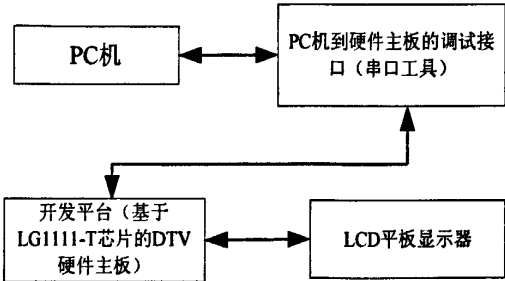


图 3-5 集成开发环境示意图

数字电视一体机系统的软件开发时在一套集成开发环境中进行的，该集成开发环境包括一台 PC 机，一个微机到开发平台的调试接口设备，一个硬件开发平台，一台 LCD 平板显示器；PC 机里面装有一套软件编辑、编译调试、升级的软件系统。

开发语言：C/C++程序设计语言

C/C++语言是一种通用的程序设计语言，也是目前工程项目主要的编程语言，它表达简洁、具有效率高、可移植性好等特点。

■ 语言编辑工具：Source Insight，UltraEdit

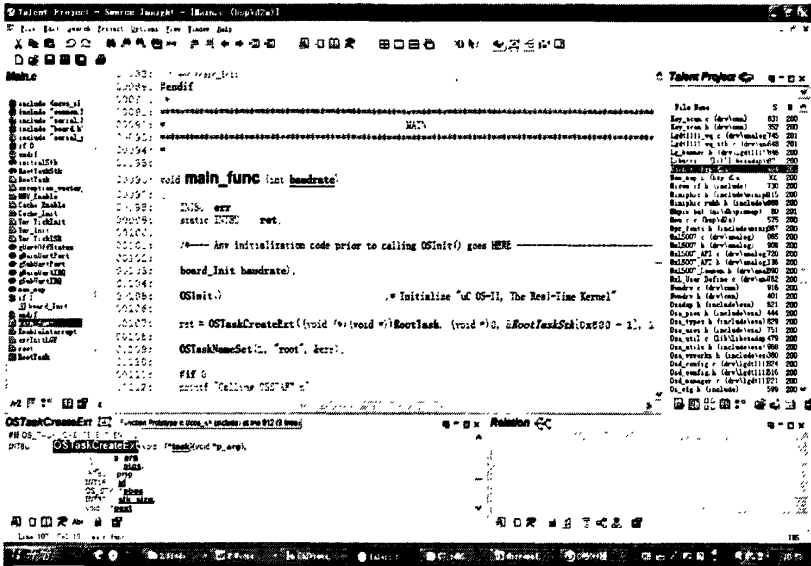


图 3-6 Source Insight

Source Insight 是一个面向项目开发的代码浏览器和程序编辑器，它拥有内置的对 C/C++，C#和 Java 等编程语言程序的分析。Source Insight 能分析源代码“”同时动态维护它自己的符号数据库以及能够自动显示有用的上下文信息。Source Insight 除了具有强大的程序编辑功能以外，它还能显示 call trees，reference trees，和 class inheritance diagrams；能提供最快速的对源代码的导航和分析源代码，提供实时的信息，与编译器同步更新；能提供任何程序编辑器的源信息和快速革新的访问源代码、源信息的能力^[24]。

UltraEdit 是一套功能强大的文本编辑器，UltraEdit 在项目中主要用于打开一些软件系统配置文件，比如.mk，.txt，.bat，.conf，.ini，.hex，.bin 文件等等。

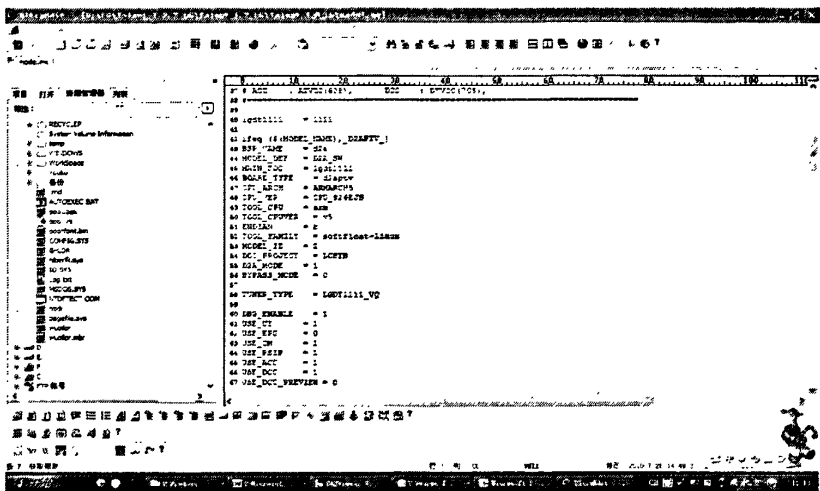


图 3-7 UltraEdit

■ 编译和调试工具：keil uVision3（模拟部分），Cygwin（数字部分）

keil uVision3 是 KeilSoftware 公司推出的 uVision3 是一款可用于多种 8051MCU 的集成开发环境(IDE)，除增加了源代码、功能导航器、模板编辑以及改进的搜索功能外，uVision3 还提供了一个配置向导功能，加速了启动代码和配置文件的生成^[25]。该项目 ATV 部分通过该编译器编译链接后生成十六进制可执行文件 ARK1839Prj.hex.

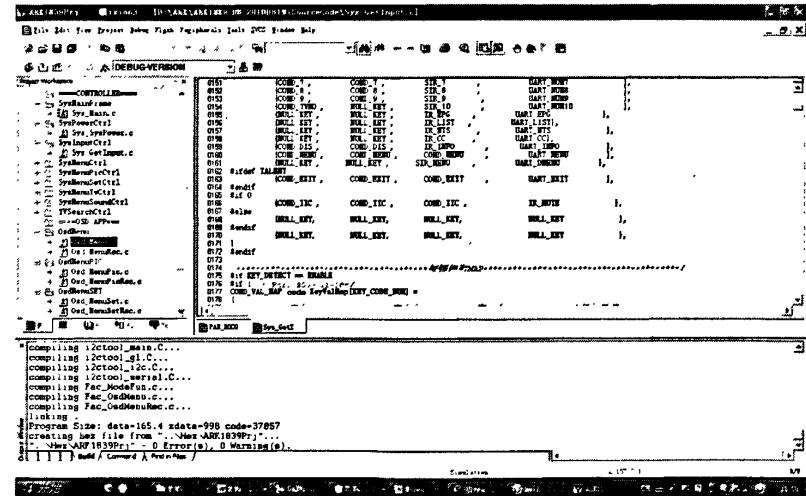


图 3-8 keil uVision3

■ Cygwin（数字部分）

Cygwin 是一个在 windows 平台上运行的 linux 模拟环境^[26]，是 cygnus solutions 公司开发的自由软件，该项目在此编译平台上编译产生一个可执行文件 ucos.biz 文件，然后 download 到主板上。

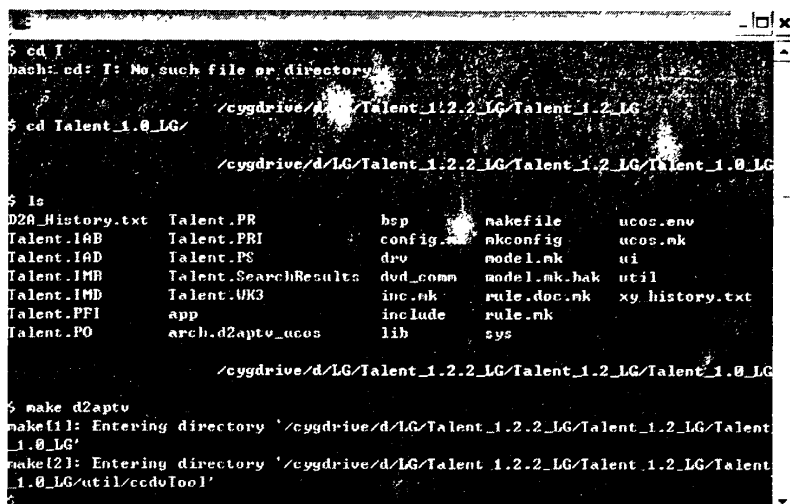


图 3-9 Cygwin

■ 烧录升级工具：ArkWriter（模拟部分）、Lgterm（数字部分）

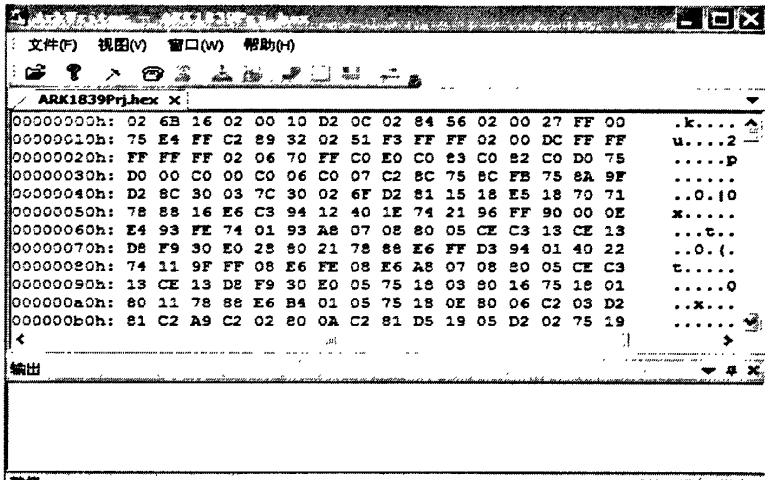


图 3-10 ArkWriter

ArkWriter 是由艾科公司自行开发的一款串口烧录工具

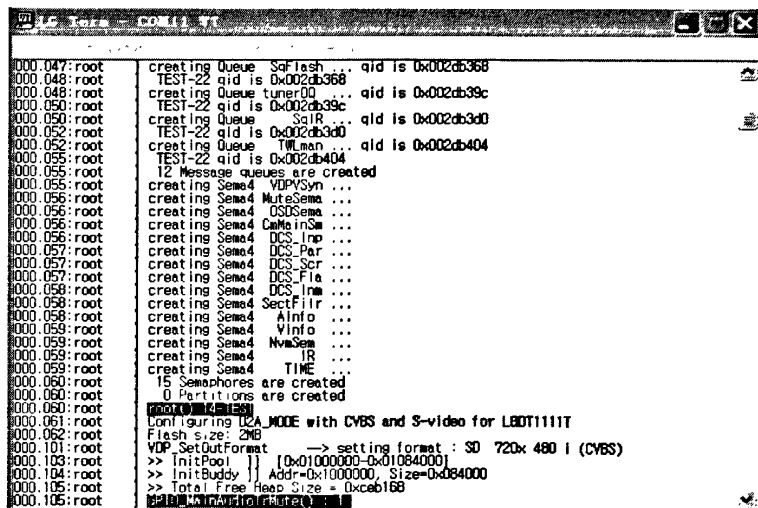


图 3-11 Lgterm

4 数模一体机的软件应用模块的设计和实现

操作系统是控制和管理系统内各种硬件和软件资源、合理有效的组织系统的工具，为用户提供一个使用方便可扩展的工作环境，从而起到连接硬件系统和用户的接口作用。从资源管理的角度来看，操作系统是系统资源的管理者，在相互竞争的程序之间有序的控制对处理器，存储器以及其他 I/O 接口设备的分配。

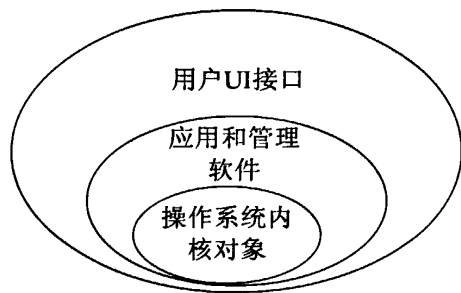


图 4-1 操作系统处理硬件系统和用户交互的示意图

操作系统是系统软件，用户可以通过各种命令（比如，键盘输入命令，红外遥控命令，图形接口命令）和系统调用方式（指系统提供了一组系统调用，用户可在应用程序中通过低啊用相应的系统调用来操作计算系统）使用硬件系统（如图 4-1 所示）。

4.1 嵌入式操作系统 μ C/OS-II

该数模一体电视机采用的操作系统是开源的 μ C/OS-II^{[27] [28]}。 μ C/OS-II 是在 μ C/OS 基础之上发展起来的，1992 年由美国嵌入式系统专家 Jean J.Labrosse 开发的专门为嵌入式应用设计的实时操作系统，它具有结构小巧、占用空间小、可剥夺实时内核、执行效率高、实时性能优良和可扩展性强等特点， μ C/OS-II 虽然没有提供文件系统管理，输入输出管理和网络等额外的服务，但是其源代码的开发性和良好的可扩展性使得此系统能够移植到很多知名的 CPU 上，那些额外的服务可以根据用户的需要定制实现。

μ C/OS-II 嵌入式操作系统是基于优先级调度的抢占式的实时内核，能够为基于 ARM 平台开发的嵌入式系统提供高效率、多任务实时操作环境，它包含了核心部分(OS_CORE.C)，任务调度和任务管理(OS_TASK.C)，时间管理(OS_TIME.C)，内存管理(OS_MEM.C)和任务间的通信和同步等基本功能，其中任务间的通信和同步方法有：信号量(OS_SEM.C)，邮箱(OS_MBOX.C)，消息队列(OS_Q.C)，事件标志(OS_FLAGC)。以下分别对这几个重要模块进行详细的说明。

- 任务管理

任务管理包括在应用程序中创建任务、删除任务、挂起和恢复任务、改变任务的

优先级以及, 任务堆栈检测、查询有关任务的信息。

μC/OS-II 可以最多支持 64 个任务, 对应的任务优先级为 0~63, 最高优先级为 0, 最低优先级为 63, 系统保留了 4 个最高优先级和 4 个最低优先级, 因此用户可用的任务优先级只有 56 个。任务的优先级越高, 反映优先级的值越低, 反之就值越高。

创建任务: OSTaskCreakExt ()

INT8U OSTaskCreateExt (

```
void (*task)(void *p_arg), 任务代码指针
void *p_arg, 当前任务开始执行时传递给任务的参数指针
OS_STK *ptos, 任务栈顶指针
INT8U prio, 任务的优先级
INT16U id, 任务标志符
OS_STK *pbos, 任务栈底指针
INT32U stk_size, 堆栈成员数目容量
void *pext, 数据域的指针
INT16U opt 是否允许堆栈检验和清零
)
```

OSTaskCreakExt() 函数是在 OSTaskCreate() 之后扩展了后 5 个参数, 利用 OSTaskCreakExt () 来创建任务虽然会增加一些额外的开销但是更加灵活。

删除任务: OSTaskDel (INT8U prio)

系统通过调用 OSTaskDel() 删除任务。这是指任务将返回并处于休眠状态, 任务的代码不再被系统调用, 而不是说任务的代码被删除了。删除空闲的任务是非常必要的。如果任务 B 想删除一个拥有内存缓冲区或信号量之类资源的任务 A, 那么任务 A 所拥有的资源就可能由于没被释放而丢失。为了防止这种情况的发生, 用户可以通过调用 OSTaskDelReq(INT8U prio) 函数请求删除任务, 这样可以保证在任务使用完资源后, 先释放资源, 再删除自己。

改变任务的优先级: OSTaskChangePrio (INT8U oldprio, INT8U newprio)

在用户建立任务的时候会分配给任务一个优先级。在程序运行期间, 用户可以通过调用 OSTaskChangePrio (INT8U oldprio, INT8U newprio) 来改变任务的优先级。

挂起任务: OSTaskSuspend (INT8U prio) 和恢复任务: OSTaskResume (INT8U prio);

任务的堆栈检测: OSTaskStkChk();

查询任务的信息: OSTaskQuery (INT8U prio, OS_TCB *p_task_data)

● 时间管理

μC/OS-II 用定时中断 (即时钟节拍) 来实现延时与超时控制等功能。它应该每秒

发生 10 至 100 次。具体由用户的应用程序来决定时钟节拍的实际频率。时钟节拍的频率越高，系统的负荷也就越重。与时钟节拍有关的系统服务：`void OSTimeDly (INT16U ticks)`任务延时，`INT8U OSTimeDlyHMSM (INT8U hours, INT8U minutes, INT8U seconds, INT16U milli)`按时分秒延时，`INT8U OSTimeDlyResume (INT8U prio)`让处在延时期的任务结束延时，`INT32U OSTimeGet (void)`系统时间的获取和 `void OSTimeSet (INT32U ticks)`设置。

● 内存管理

在嵌入式操作系统中，动态的分配内存和释放内存一般用 `malloc()`和 `free()` 这两个函数，如果经常多次的使用，就会产生很多内存碎片，也就是指会把原来一大块的连续内存区域逐渐分割成很多的小块内存区域并且彼此又不相邻。如果这些内存碎片积累过多，那么程序分配内存就会很困难，即使很小的内存也分配不到。

在 $\mu C/OS-II$ 中，操作系统是按分区机制来管理连续大块的内存区域的。每个分区（如图 4-2 一个内存分区）包含整数个大小相同的内存块；由于采用了这种机制，`malloc()`和 `free()`函数每次分配和释放内存块大小是固定，这两个函数执行的时间也是固定的。在 $\mu C/OS-II$ 系统中有很多个这样的内存分区（如图 4-3 多个内存分区），用户的应用程序可以根据所需从不同类型的内存分区中分配到特定大小的内存块。但是释放特定的内存块时必须重新放回它原来所属的内存分区当中。显然，采用这样的内存管理算法很好了解决了上述所说的内存碎片问题。

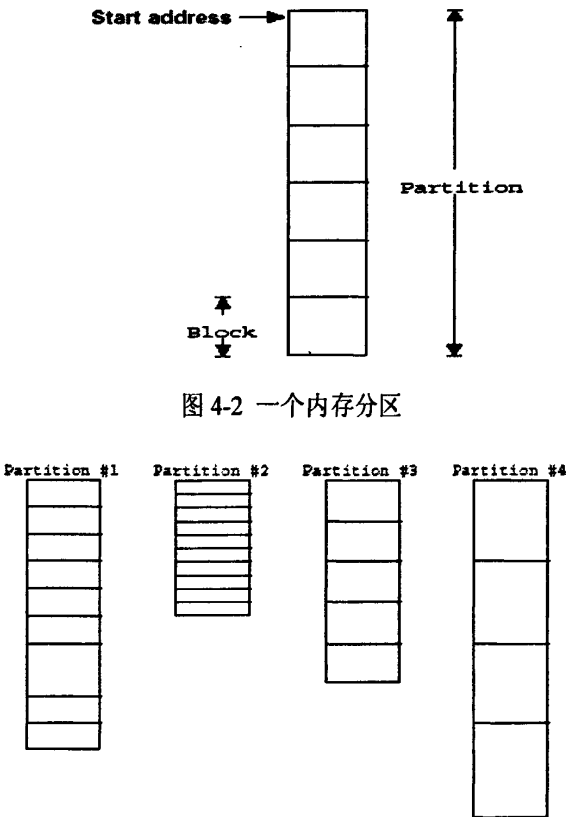


图 4-2 一个内存分区

图 4-3 多个内存分区

在 μ C/OS-II 操作系统中, 使用内存控制块 (memory control blocks) 的数据结构管理内存的, 它很方便的跟踪每一个内存分区, 并且每个内存分区都有它自己对应的内存控制块

```
typedef struct os_mem {
    void *OSMemAddr;      //指向内存分区起始地址的指针
    void *OSMemFreeList;  // 指向下一个内存控制块的指针
    INT32U OSMemBlkSize;   //内存块的大小

    INT32U OSMemNBlks;     //内存块的数量
    INT32U OSMemNFree;     //空闲内存块的数量
    INT8U OSMemName[OS_MEM_NAME_SIZE]; //内存分区的名字
} OS_MEM; // 内存控制块
```

在使用一个内存分区之前, 必须先建立该内存分区 OSMemCreate(); 应用程序可以调用 OSMemGet() 函数从已经建立的内存分区中申请一个内存块; 当用户应用程序不再使用一个内存块时, 必须调用 OSMemPut() 及时地把它释放回到相应的内存分区中; 可以使用 OSMemQuery() 函数来查询一个特定内存分区的有关消息: 特定内存分区中内存块的大小、正在使用的内存块数和可用内存块数。如果在内存分区暂时没有可用的空闲内存块, 申请内存块的任务需要等待其他任务释放内存块以后才可以申请到。

● 任务间的通信和同步

在 μ C/OS-II 中, 有多种方法实现任务间的通信和同步, 包括利用宏关闭中断 OS_ENTER_CRITICAL() 和打开中断 OS_EXIT_CRITICAL(); 或者利用任务调度函数上锁 OSSchedLock() 和开锁 OSSchedUnlock() 等, 此外还可以用信号量、消息邮箱和消息队列进行通信。

信号即是事件, 这里涉及到事件控制块 ECB(Event Control Blocks), 一个任务向另一个任务发送信号时通过时间控制块来实现的, 接收到事件控制块的并且优先级比较高的任务将进入就绪状态准备执行。以下是事件控制块 (ECB) 的数据结构

```
typedef struct {
    void OSEventPtr; //消息队列的指针 */
    INT8U OSEventTbl[OS_EVENT_TBL_SIZE]; /* 等待任务列表 */
    INT16U OSEventCnt; /*当事件是信号量时表示计数器*/
    INT8U OSEventType; /*事件类型 */
    INT8U OSEventGrp; /* 等待任务所在的组 */
} OS_EVENT;
```

信号量

μ C/OS-II 可以使用信号量作为任务间的通信与同步, 用户只要将 OS_CFGH 文件中的宏定义开关 OS_SEM_EN 置 1, 然后调用 OSSemCreate() 函数建立该信号量就可以使用信号量了, 在 μ C/OS-II 中信号量的组成有两部分: 一是信号量的计数值, 它是一个 16 位的无符号整数 (0 到 65,535 之间); 二是由等待该信号量的任务组成的等待任务表。

消息邮箱

消息邮箱可以使一个中断服务子程序或者任务向另一个任务发送一个包含了特定“消息”的数据结构的指针型变量。在使用某个邮箱之前, 必须将 OS_CFGH 中的宏标志 OS_MBOX_EN 常数置为 1。然后通过调用 OSMboxCreate() 函数创建该邮箱, 并且要指定指针的初始值, 如果最开始邮箱中消息为空, 那么需要赋值为 NULL。μ C/OS-II 中对邮箱的操作有: OS_EVENT *OSMboxCreate (void *msg) 创建消息邮箱, void *OSMboxPend (OS_EVENT *pevent, INT16U timeout, INT8U *err) 等待消息发送到邮箱, OSMboxPost() 发送消息到邮箱, OS_EVENT *OSMboxDel (OS_EVENT *pevent, INT8U opt, INT8U *err) 删除消息邮箱, void *OSMboxAccept (OS_EVENT *pevent) 检测邮箱中是否有可用的消息和 INT8U OSMboxQuery (OS_EVENT *pevent, OS_MBOX_DATA *pdata) 获得关于消息邮箱的信息。

消息队列

消息队列与消息邮箱的区别是: 每个指针指向的数据结构的变量因具体的应用不同而不同。同样的, 我们需要将 OS_CFGH 文件中宏定义 OS_Q_EN 开关置为 1, 然后调用 OSQCreate() 函数建立该消息队列并定义消息队列中的消息单元数来完成才能使用消息队列功能, 此外通过宏定义常量 OS_MAX_QS 来决定最多支持的消息队列数。μ C/OS-II 对消息队列操作的函数包括: OSQCreate (void **start, INT16U size) 创建消息队列, void *OSQPend (OS_EVENT *pevent, INT16U timeout, INT8U *err) 等待消息队列中的消息, INT8U OSQPost (OS_EVENT *pevent, void *msg) 向消息队列发送一个消息 (FIFO), INT8U OSQPostFront (OS_EVENT *pevent, void *msg) 向消息队列发送一个消息 (LIFO), OSQAccept (OS_EVENT *pevent) 从消息队列中取出消息, INT8U OSQFlush (OS_EVENT *pevent) 将一个消息队列清空, INT8U OSQQuery (OS_EVENT *pevent, OS_Q_DATA *pdata) 查询一个消息队列的相关信息, 和 OS_EVENT *OSQDel (OS_EVENT *pevent, INT8U opt, INT8U *err) 删除消息队列。

4.1.1 数字部分软件流程图

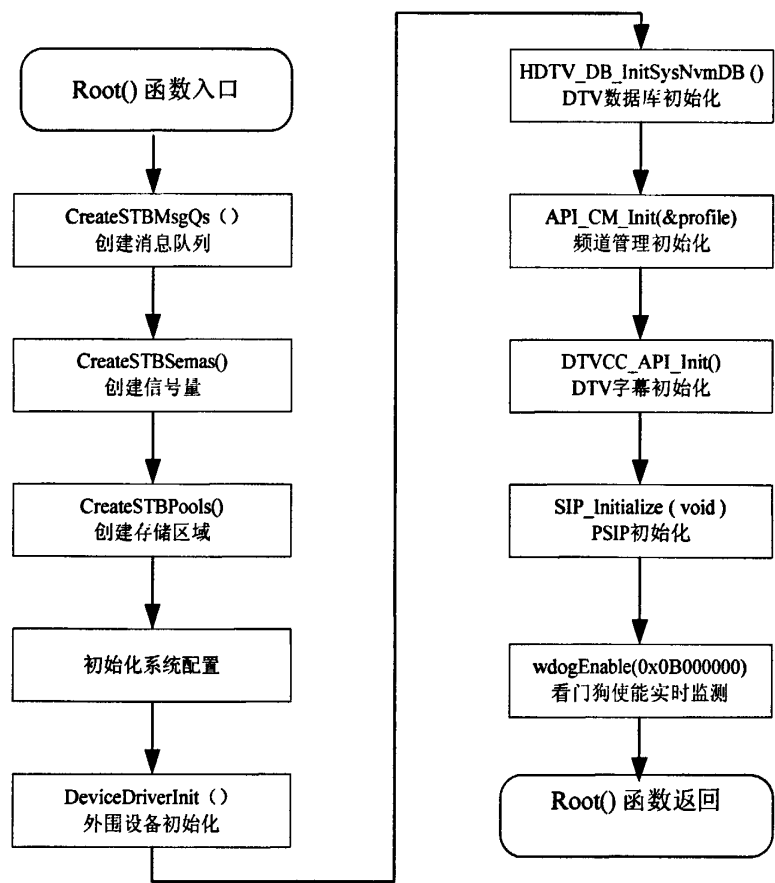


图 4-4 Root 函数的流程图

在接收机上电启动以后，Bootloader 首先从 Flash 中固定的地址导入实施多任务操作系统 uC/OS-II，创建接收机应用程序进入 Main.c 中的 main_func 函数，main 函数内要做事情有：主板 CPU 初始化 board_Init，初始化操作系统 OSInit，调用 OSTaskCreateExt()创建多系统任务，启动多任务操作系统 OSStart()，并进入 root 函数，初始化各个驱动，创建相应的进程，操作系统运行起来之后，进入应用程序状态，多任务程序在操作系统的配合下响应用户的需求和实现相应的功能，本项目应用中的 Root()函数的流程图如下：

4.1.2 模拟部分软件流程图

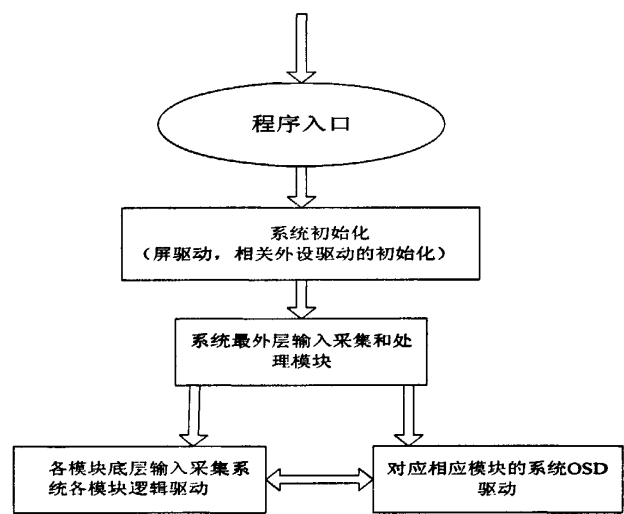


图 4-5 模拟部分软件总流程图

硬件上电以后，主机编程接口对底层硬件进行检测并配置其工作在正常状态，然后将存储在 flash 中的代码加载到 SDRAM 中，接着加载软件系统进入软件入口执行代码；

- 首先进入程序入口函数 `main ()`，对系统相应的器件初始化，比如：单片机 8052 初始化；液晶屏参数初始化；电源模块初始化；红外模块初始化;OSD 静态参数初始化);
- 然后，系统进入无限循环检测和采集系统的最外层和底层模块的输入以及驱动这些模块响应事件；
- 事件的控制框架流程是：获取输入，处理输入，响应输入；例如：来自遥控器或者本机按键的命令被获取后，由系统作相应处理并由底层硬件响应。

4.2 软件系统中多任务实现和各模块状态关系

4.2.1 软件系统多任务实现

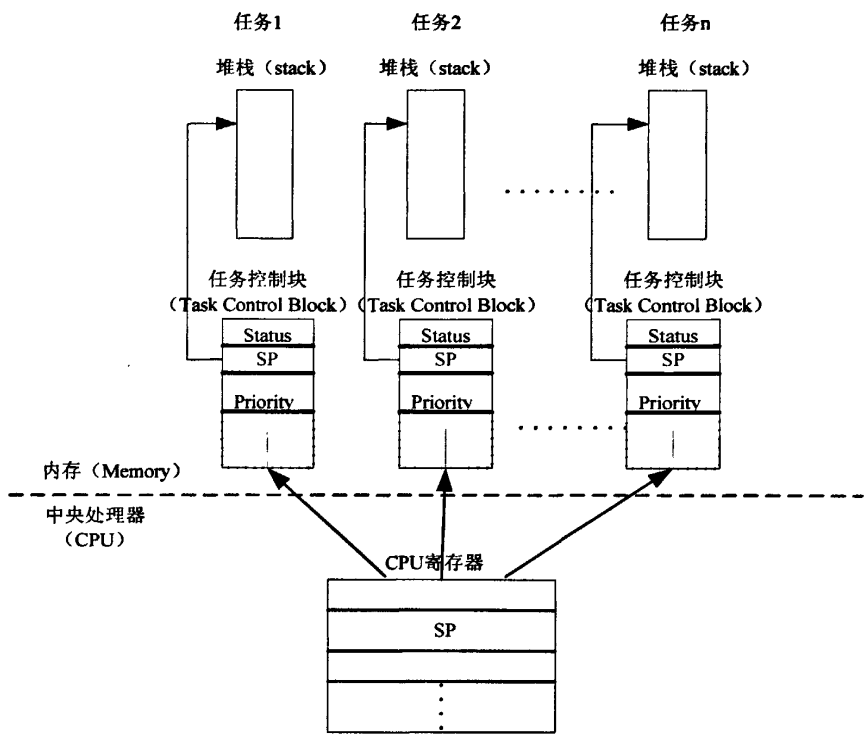


图 4-6 多任务机制

多任务实际上是在嵌入式操作系统的配合下靠 CPU 在许多任务之间转换和调度的来实现，如果只有一个 CPU，那么它将轮番调度一系列任务中的某一个；如果是多个 CPU，那么这些 CPU 可以同时并行处理多个任务。多任务运行使应用程序模块化，并使 CPU 的利用率得到最大的发挥 [28]。在实时应用中，多任务化的最大特点是，开发人员可以将很复杂的应用程序层次化。使用多任务，应用程序将更容易设计与维护。

任务也称作线程。实时应用程序的设计包括把一个复杂的问题分割成许多个简单的任务（也就是多个线程），uC/OS-II 中每个任务都有自己的优先级，并且优先级的值都不同，有自己的堆栈空间和对应的一套 CPU 寄存器（如图 4-6）。当某个实时应用程序运行时，可以认为掌握了 CPU 的控制权，CPU 负责处理完当前的任务后才转下执行下一个任务。

每个任务都有 5 种状态（如图 4-7 多任务的状态关系），分别是：休眠态（DORMANT），就绪态（READY），挂起态（WAITING），运行态（RUNNING），被中断态（ISR）；每个任务在每一特定的时间片都处在以上状态之一。休眠态是指任务驻留在内存中，但不被系统内核调用；就绪态是指该任务已经准备好可以运行，但是别的优先级高的任务正占用 CPU 资源，此时还暂时不能运行，处于等待得到 CPU

控制权的状态；挂起态也就等待事件态，指的是该任务正等待某一事件的发生，比如时钟信号，脉冲信号，外设的 I/O 操作，资源共享可以使用，消息信号等等，如果这些是发生了，那么任务将结束事件等待从挂起态转为就绪态；运行态，顾名思义，它是指任务掌握了 CPU 的控制权并获得了相关系统资源，正在运行当中的状态，这时候如果有某一中断的到来，CPU 将转向中断处理子程序去执行中断处理任务，原来运行的任务此时就处于被中断状态，待 CPU 处理完中断请求任务后退出中断，那么原来的任务又开始从断点开始运行。

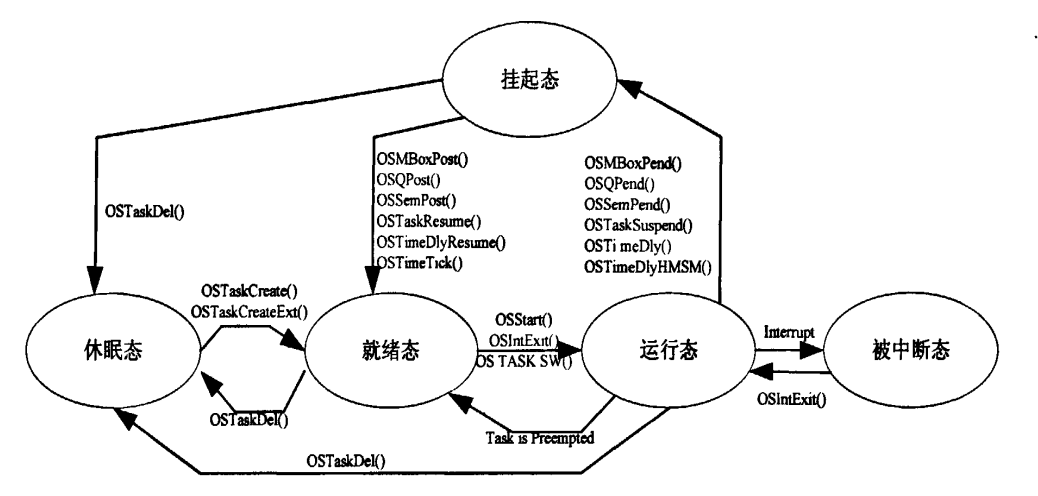


图 4-7 多任务的状态关系

该数模一体电视接收机所要实现的多任务包括：搜台换台任务（TunerTask）；主 UI 的设计和实现（UI_Main）；红外遥控控制（IR_Task）；本机键盘控制（keyBoardTask），时钟计数器（TimerTask），频道管理（CM_TuneAndScan），字幕显示（ACCParsingTask 和 DCCScreenTask）等等。这么多的任务系统是如何切换这些任务呢？在 uC/OS-II 操作系统中，多任务的切换（也称 CPU 寄存器内容的切换），是通过寄存器和内存中堆栈的内容或者值的改变实现的。当 uC/OS-II 内核决定运行下一个任务时，首先会将目前运行的任务所属 CPU 寄存器和内存栈区的全部内容保存起来，即当前任务入栈^[29]。入栈工作完成后，下一个即将运行的任务出栈，即把要运行的任务从该任务的栈中装入 CPU 寄存器，然后开始运行，切换时间取决于入栈的寄存器数量。一般来说系统级芯片的 CPU 有很多的寄存器，它可以管理很多的任务，但是在切换任务过程中，用户应用程序会增加 CPU 的额外负荷，寄存器越多，额外负荷越重，因此，对于支持嵌入式系统的芯片的 CPU 要求其性能要比较高，主频要达到一定数值，运行速度不能太慢，否则会影响接收机的功能和客户体验。值得一提的是，uC/OS-II 系统是基于优先级的、可剥夺内核的实时操作系统，也就是说当另一任务的优先级高于正在运行任务的优先级，那么对 CPU 的控制权一定会被高优先级的剥夺，CPU 转而执行更高优先级的任务。

4.2.2 多任务各模块状态切换实现

在数模一体机播放状态下（TV Playing），我们可以通过本机键盘（KeyBoardTask）或者红外遥控器（IR，调用 IR_Task 线程），来控制并切换各个多任务模块的状态，其中 Volume+-键控制音量的大小，Channel+-键和数字键来切换频道，Menu 键可以显示 OSD 菜单（通过调用 ui_main 线程），在 OSD 菜单中可以调整语言，亮度，色度，对比度，透明度，搜台方式，CC，V-CHIP，epg 功能等等一些显示屏的属性，对于 OSD 菜单的介绍将在 4.5 小节做具体的介绍，如果在 OSD 菜单中有打开 ACC，DCC 开关，那么在红外遥控对应的 CC 按键来转换字幕通道，如果信号源有字幕数据，那么屏幕上就可以显示字幕信息；频道管理模块是后台运行的线程，是对频道表的管理，与搜台、换台线程相关。

此数模一体机是小尺寸的，不涉及到其他通道的模块，比如：YUV，CVBS，RGB，VGA，HDMI 等等，因此在此论文内容以及图表中不做这方面的介绍。

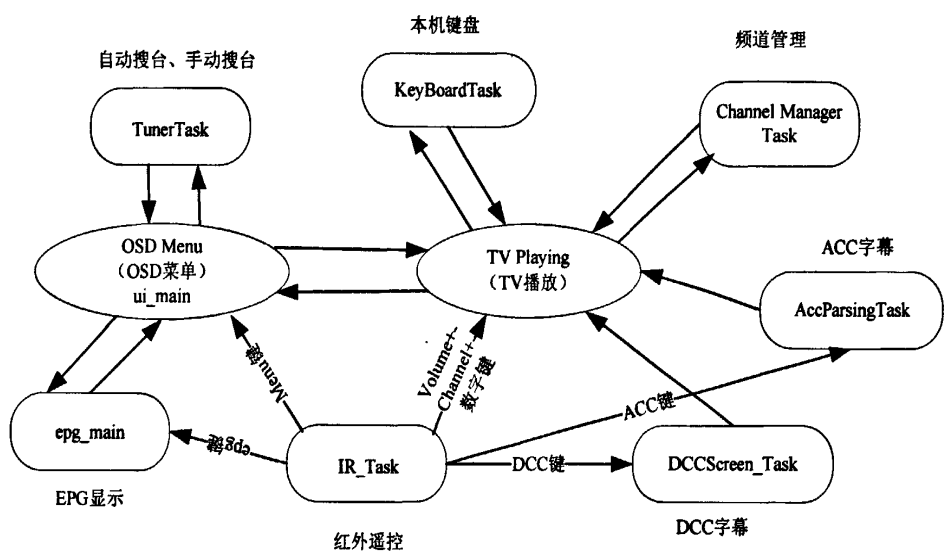


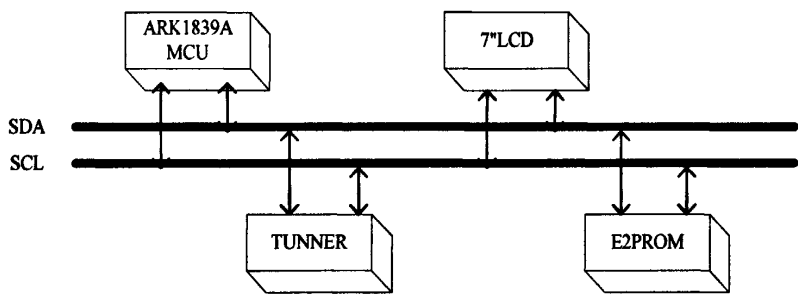
图 4-8 一体机多任务各模块状态切换示意图

4.3 IIC 总线技术和搜台换台原理

4.3.1 IIC 总线技术

IIC 总线是双线串行总线通信协议—串行时钟线 SCL 和串行数据线 SDA，已经成为一个国际标准。它提供了一个小型网络，实际上可以将 IIC 总线看成一个主干线，连接在总线上的器件间通过这条主干线相互之间发送和接收信息。由于主干线上可以连接很多 IIC 器件，他们如何准确的传递信息呢？从 IIC 总线协议规范中可知，总线

上的每一个器件都有一个唯一的地址，每个器件由其功能决定是接收器还是发送器，并且在执行数据的时候要区分主机和从机，主机就是能够初始化总线的数据传输并且同时产生允许传输数据的时钟信号的器件，那么，其他任何被主机寻址的器件都是从机^[31]。如图 4-9 IIC 总线配置示意图，该方案以 ARK1839A 作为主机，通过 I2C 总线传递数据给挂在总线上的 IC 进行读写，(这些 IC 包括 TUNER(TDVW_H104F)，LCD 驱动器，存储器(FLASH,E2PROM)和本机键盘接口等等),然后 IC 做出回应，执行并响应相应的动作。I2C 器件的应用大大减少了电路间的连线，减小了电路板的尺寸，降低了硬件的成本，并提高了系统的可靠性。



如图 4-9 IIC 总线配置示意图

如图 4-10 IIC 总线完整的数据传输可知，IIC 总线的起始条件（Start Condition）：当 SCL 为高电平时，SDA 线从高电平切换到到低电平，这时数据开始传输；停止条件（Stop Condition）：当 SCL 为高电平时，SDA 线从低电平切换到高电平，这时数据停止传输。

在起始条件之后，主机先发送一个 7 位的从机地址，确定要搜寻的从机器件，紧接着第 8 位是数据的传输方向，1-表示读数据（接收数据），0-表示写数据（发送数据）。每个字节后必须第九个时钟脉冲期间释放 SDA 数据总线，由从机接收器发送一个应答信号（ACK），将原来为高电平的 SDA 数据总线电平拉低，这时数据被成功接收；但有些 IIC 器件并不发送应答信号，这也是由器件的功能决定的；数据传输的终止一般由主机产生一个停止条件来实现，但是如果主机仍然希望在总线上通讯，那么在产生停止条件之前，可以先产生重复起始条件（Sr），然后开始寻址另一个从机并且传输数据，最后数据传输完毕再主机再产生一个停止条件；在这种传输中读写格式也有可能不相同。

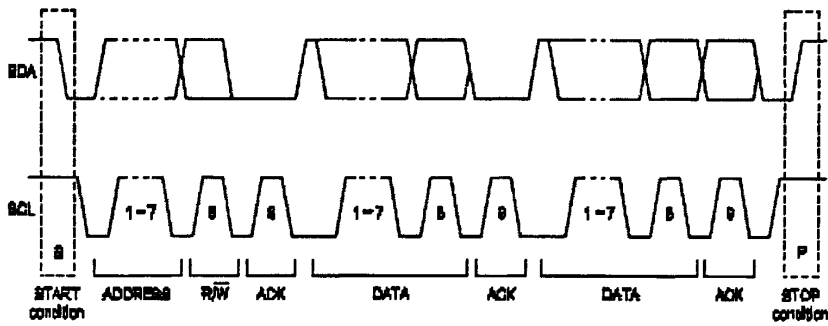


图 4-9 IIC 总线完整的数据传输

4.3.2 高频头调谐原理和参数配置

高频头：

本方案采用的是 LG 电子公司的型号为 TDVW-104F 的数模一体化三频段频率合成式高频头。TDVW-104F 采用 IIC 总线技术，软件可通过 I2C 总线（SDA 串行数据线，SCL 串行时钟线）向调谐器传送 5 个字节的控制信息，准确的调谐出所需要的频点信号。

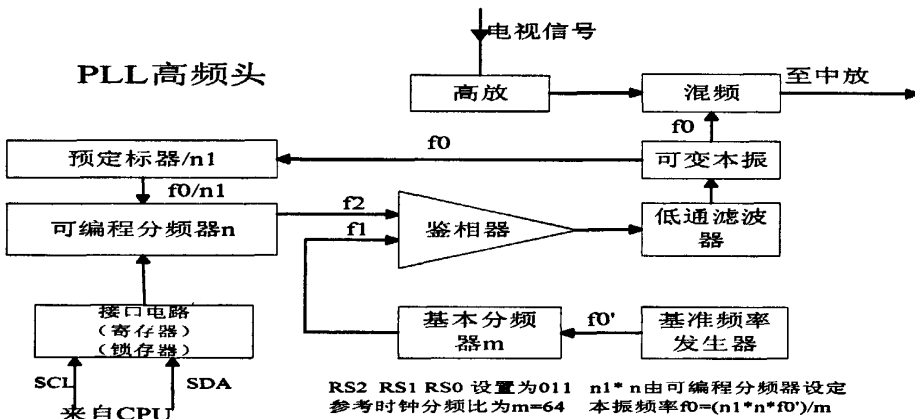


图 4-12 频率合成式高频头组成框图

图 4-12 为频率合成式高频头组成框图，在频道调谐时，软件向调谐器接口电路传送分频比数据和波段数据等控制信息，然后这些控制信息与本振电路产生的振荡频率经过预定标器 $n1$ 个分频后的频率一起传送到高频头内可编程分频器 n ，输出频率 $f2$ ；此外，高频头内一个稳定度极高的基准频率发生器产生频率 $f0'$ ，经过基本分频器 m 分频后，输出频率 $f1$ ； $f2$ 与 $f1$ 在鉴相器内进行比较^[32]，若两者有频率和相位的误差，则立即产生一个相位误差电压经低通滤波后控制本振频率，直到两者频率和相位相等为止，最终，本振频率即被精确的锁定到用户所要收看的频道上，本振频率的计

算公式为： $f_0=(n_1\times n\times f_0')/m$ 。从天线输入的射频信号（VHFL 频段：54MHZ-88MHZ、VHFH 频段：174MH Z-216MHZ、UHF 频段：470MHZ-806MHZ）首先经过输入滤波电路滤除干扰和噪声，然后再通过高频放大将信号放大，混频，输出中频信号（包括图像中频信号和伴音中频信号）。NTSC 和 ATSC 中频信号通过相应的中频带通滤波器（让特定的中频带范围的信号通过滤波器），再经过中频放大，声表面滤波器（SAW），最后选择提取出所要的频道。

表 1 为 TDVW_H104F 高频调谐器（Tuner）的控制数据^[33]。其中，字节 1 是器件的地址；字节 2 和字节 3 用于设置分频比；字节 3,4,5 为控制数据；MA1, MA0 用于调谐部分电压控制；T1/ATSS, ATP2, ATP1, ATP0 用于 RF AGC 的起控点；RS2, RS1,RS0 用于设置参考时钟的分频比；CP1, CP2 用于设置 PLL 锁相环的电荷泵；P5, BS4, BS3, BS2, BS1 用于设置不同频段的转换；T3, T2, T0/XLO 用于设置高频头的 XTAL 时钟输出；ATC 用于选择不同的带通滤波器；STBY 用于待机模式的控制，当设置为 1 时，高频头即进入待机模式，而当设置为 0 时，则正常工作。

表 4-1 TDVW_H104F 高频调谐器的控制数据

BYTE	BITS								
	7(MSB)	6	5	4	3	2	1	0(LSB)	A ⁽¹⁾
Address byte(ADB)地址字节	1	1	0	0	0	MA1	MA0	R/W=0	A
Program divider byte 1(DB1) 可编程分频比字节 1	0	n14	n13	n12	n11	n10	n9	n8	A
Program divider byte 2(DB2) 可编程分频比字节 2	n7	n6	n5	n4	n3	n2	n1	n0	A
Control byte 1(CB1)控制字节 1	1	0	ATP2	ATP1	ATP0	RS2	RS1	RS0	A
Band switch byte(BB) 波段转换字节	CP1	CP2	0	P5	BS4	BS3	BS2	BS1	A
Control byte 1(CB2)控制字节 2	1	1	ATC	STBY	T3	T2	T1/ATSS	T0/XLO	A

根据高平头的规格书，写高频头在软件中的实现：写相应的寄存器，5 个比特的信息

```
i2c_dataBuf[0] = (tunerPllData >> 8) & 0x7f; /* 0, N14, N13, N12, N11, N10, N9, N8 */
i2c_dataBuf[1] = tunerPllData & 0xff; /* N7, N6, N5, N4, N3, N2, N1, N0 */
i2c_dataBuf[2] = 0x93; //
if(tunerPllData < 0x0D20)
    i2c_dataBuf[3] = 0x01;
else if(tunerPllData < 0x1EE0)
    i2c_dataBuf[3] = 0x02;
else
```

```
i2c_dataBuf[3] = 0x08;
i2c_dataBuf[3] |= 0x00;    //charge pump 70 uA
i2c_dataBuf[4] = 0xE2;    // ATC=1 15uA, X-tal out off, AGC Start Point
wrError |= i2cmsMasterWrite    //wrError initial value
(
    pTmpI2cId,                /*I2C 接口的 ID */
    TUNER_PLL_IC_ADDR,        /* 从机地址 */
    NULL,                     /* 从机子地址*/
    0,                        /* 子地址的大小 */
    i2c_dataBuf,              /* 写缓冲器 */
    5                          /* 写的比特数, 5 个字节*/
);
```

频道信息内容：

频道信息包括频道列表信息和频道管理信息，对于频道的管理包括频道信息的存储，更新和显示，频道信息列表：频道信息总表，数字频道信息表，模拟频道信息表以及特定频道信息总表等等，频道信息主要存储在内存（RAM）和外部存储器（FLASH）中，RAM 相对于外部存储器来说，读取速度快，但是断电后不保留任何数据。这就需要外部存储器来存储频道信息列表。在搜台时，先对内存（RAM）中的频道信息表进行更新，再对外部存储器中的频道信息表进行更新；而开机时从外部存储器中读出频道信息到内存中。

```
typedef struct
{
    API_CHANNEL_NUM_T    channel;    //频道号相关结构体
    API_CHANNEL_MAP_T    channelMap;

    XmSTRING              ChannelNumSTR; //
    XmSTRING              ChannelNameSTR; //频道名称

    XmBOOLEAN             fHidden;      //for Add/Del
    XmBOOLEAN             fScramble;    //for Scramble CH
    XmBOOLEAN             fBlocked;    //for CH Block

    UINT16                TotalChNum;  //总频道号
} CHLIST_INFO_T;
```

```
typedef struct API_CHANNEL_NUM
{
    UINT08    inputIndex;      /* Source of channel      */ /* 输入频道索引值
    UINT08    physicalNum; /* Physical channel Number: 1-135 */ /* 物理频道号
    UINT16    majorNum;      /* Major number of channel: 0-999 */ /* 主频道号
    UINT16    minorNum;      /* Minor number of channel: 0-999 */ /* 次频道号
} API_CHANNEL_NUM_T;
```

美国频道划分：

从美国频道划分表中可以看出分为地面广播 AIR（无线传输）和 CATV（有线传输），频带宽度都为 6MHz，CATV 又分为：CATV-STD（Standard），CATV-HRC（Harmonically Related Carriers），CATV-IRC（Incrementally Related Carriers）；表中仅给出了 AIR 和 CATV-STD 的物理频道号和物理频点，其中 AIR 的频道号从 2 到 69，相对应的物理频点从 55.25MHz 到 801.25MHz；CATV-STD 的频道号从 1 到 125，相对应的物理频点从 73.25MHz 跳到 55.25MHz，再上升到 799.25MHz。

CATV（HRC）与 CATV（STD）区别：CATV（HRC）的 5、6 频道比 CATV（STD）多 0.75M，其余频道少 1.25M。CATV（IRC）与 CATV（STD）区别：CATV（IRC）的 5、6 频道比 CATV（STD）多 2.0M，其余频道一样。

4.3.3 搜台换台的工作原理

搜台功能是数字电接收机的基本功能之一，该系统既可以实现自动搜台和手动搜台，又可以实现模拟，数字台分开搜索，还可以分别 CABLE（有线传输电视信号）和 AIR（地面广播无线电视信号）传输的信号分别搜索。手动搜台就是对于给定的某个物理频点，搜索在该物理频点上传输的节目信息，也称为单频点搜台。自动搜台是按照美国频点划分表上的频点逐个的搜索节目信息，也称为全搜台，简单的说，自动搜台是多次重复的手动搜台。

自动搜台流程图如 4-13，前端高频头对某一频点的调谐是由 TunnerTask 软件模块完成的。TunnerTask 模块首先判断频道系统有没有上锁，如果被锁住的话，那么自动停止搜台，否则设置高频头前端频点信息（从第一个频点 55.25MHz 开始），设置的过程就是在软件当中就计算出相应的频率信息，然后用 I2C 总线写高频头参数的过程，然后判断频点是否锁定，如果没有锁定就设置下一个频点，如果锁定了，在硬件上经过解调、解复用、解码后，就要开始提取 TS 中的信息，解析频道表的信息，频道表信息包含 VCT(Virtual Channel Table 虚拟频道表)，PAT(Program Association Table 节目关联表)，PMT (Program Mapping Table 节目映射表)，这三个表的解析顺序是^[34]：首先解析 VCT，（如果不带 VCT 表，则要根据 PMT 的信息构建一个全新的 VCT 表或者根据 PMT 的信息补充 TS 流中传输）然后是 PAT 和 PMT，只有先成功解析 PAT，

得到 PMT 的传输包 PID, 才能获取 PMT 再对其解析。若是 PAT 解析成功, 则继续解析 PMT, 否则跳过对 PMT 的解析。在 PAT 解析失败之后或者 PAT 解析成功并且完成了 PMT 的解析之后, 就将解析得到的节目标志性信息和节目在数据库中的索引信息添加到频道索引表。

解析完频道信息表以后就开始更新 RAM 和 FLASH 中存储的频道信息表, 同时获得并显示搜台进度, 最后判断此频点是否频点表中的最后一个频点, 如果不是则继续设置下一个频点, 如果是则自动搜台结束。

数模一体机的换台需要检索频道索引表, 所以在换台之前必须创建一个频道索引表, 这个表在第一次搜台完毕之后就已经创建好了, 并将文件备份在外部存储器里面; 频道索引表的各个表项包含每个频道的 PID 及其各种相对应的属性。当用户开机时, 这些频道索引表会被读取到内存中去, 开机首先播放的上一次关机之前的频道, 因为这个频道已经由系统记忆住了。切换频道时, 系统先根据用户需求, 在索引表中找到对应的表项, 然后发送消息给系统底层请求换台^{[35][43]}。换台消息包括节目的信号源, 要搜索的物理频道号或要切换的频道号。初始化换台完成, 停止状态检测服务, CC 服务, EPG 服务以及 VChip 服务, 停止播放 (解码器停止工作), 以及根据新的节目信号的前端高频头信息对解码器初始化。此外, 还要在内存中更新当前频道信息, 然后将此频道信息更新到 FLASH 或者 EEPROM 中。设置频点及参数: 设置信号的频率, 调制方式, 码率以及所有音频流和视频流的 PID 及用于同步信号 PID。当锁定频点以后, 将这些设置信息通知解码器。设置频点及参数后, 进行其他功能的设置包括设置图像和声音制式, 开启 CC 功能, 开启 EPG 功能, 开启 VChip 功能, 开启状态检测功能, 最后开始播放。换台的原理和流程与搜台类似, 在此就不赘述了。

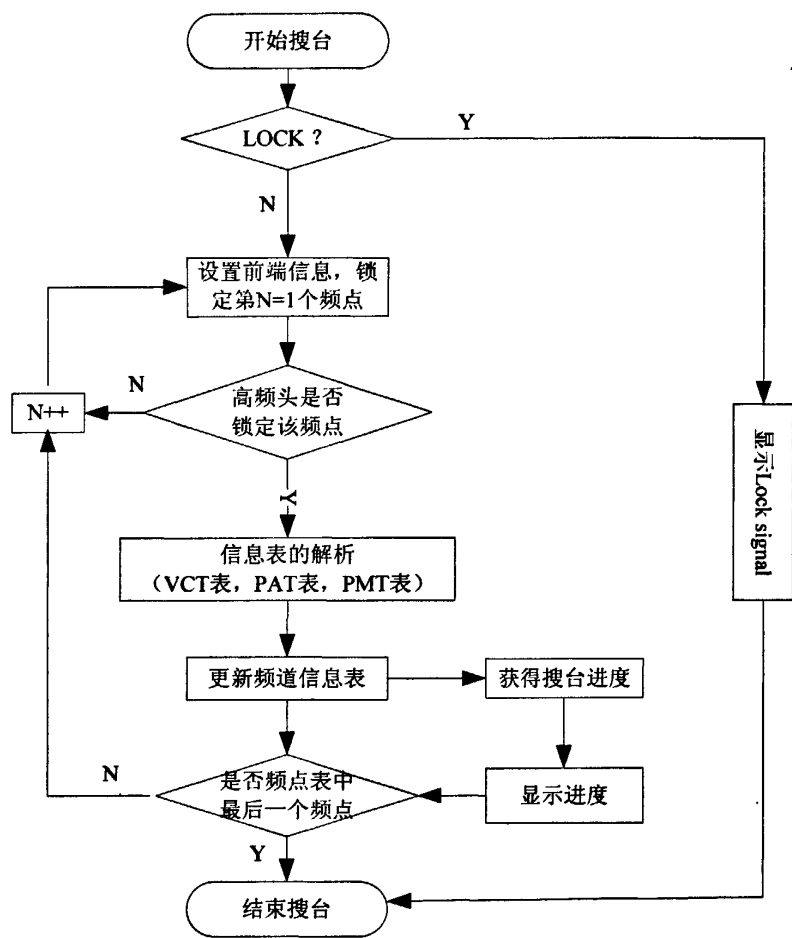


图 4-13 自动搜台流程

4.4 芯片间 UART 串口通信

UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 是一种异步通信的，通用串行数据总线，该总线可双向通信，可实现全双工的发送和接收，在嵌入式系统中 UART 通常用来与 PC 机通信，调试程序和其他器件，但是此方案采用一路 UART 串口用于两块主芯片 LGDT1111-T 和 ARK1839 之间的通信，通信的目的是为了在 ATV 菜单的状态下选择 ATV 的一个 item 进入 DTV 菜单，然后响应来自外部 IR 的命令，即此 IR 命令是通过 UART 串口模拟出来的，直接接收 IR 命令的芯片集成在 ARK1839 芯片里；通信协议由两家芯片厂商协商确定为^[36]：

- First Sync Byte : 0xC5 (to prevent abnormal communication): 同步命令
- First Byte : 0xC4 (Initialization Finished): 初始化结束命令
- First Byte : 0xC3 (Menu destroy): ATV 菜单隐藏，DTV 菜单打开

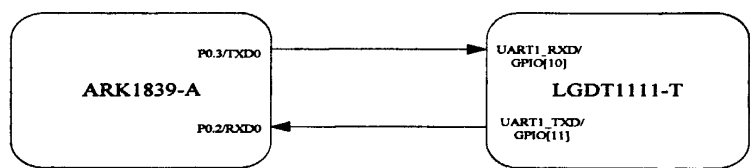


图 4-14 两芯片 UART 通信硬件连接示意图

如图 4-14，可知一端由 ARK1839 的 TXD0 口发送命令，另一端 LGDT111-T 的 UART1_RXD 口接收命令，同样的原理，当 UART1_TXD 作为发送命令口时，RXD0 作为接收相应命令的端口，其发送和接收命令过程在软件中如下实现：

LGDT1111-T:

接收命令函数:

```
int read_comm_rbuff(int msWait)
{
    int retVal = -1;

    while(rCount == wCount)
    {
        if(waitSem(semCommUartRx ,msWait)!=OSADAP_SEM_SUCCESS)
            return -1;
    }
    retVal = comm_rbuff[rCount];
    rCount = (rCount + 1) % COMM_UART_BUFF_SIZE;

    return retVal;
}
```

发送命令函数:

```
int put_comm_data(char byte)
{
    int ret = 0;
    int sTimer = 0 , cTimer = 0 , tmdiff = 0;

    sTimer = readMsTicks();
    while (pLgeUart1->flag & UART_PL01x_FR_TXFF)
    {
        cTimer = readMsTicks();
        if ( cTimer >= sTimer ) tmdiff = cTimer-sTimer;
        else tmdiff = cTimer + (0xffffffff-sTimer);

        if(tmdiff> COMM_SEND_TIME_OUT)
        {
            return -1;
        }
    }
};
```

```
/* Send the character */  
pLgeUart1->data = byte;  
  
return ret;  
}
```

4.5 OSD 的设计与实现简介

OSD 是 On-Screen Display 的简称, 即屏幕菜单式调节方式, 为于软件设计的最上一层, 属于 GUI (Graphical User Interface) 图形用户界面的一种, 一般是按遥控键盘或者电视控制面板上的 menu 按钮后弹出一个控制菜单, 这个菜单能够对显示器或者各项功能进行调节, 从而达到用户想要的视觉效果或者转换到相应的功能; OSD 的开发包括菜单风格的设计, 菜单界面的生成, 菜单操作方式的设计, 菜单功能的实现等等, 对于 OSD 的软件制作, 目前有两种方法, 一种是直通过源代码的更改进行 OSD 的制作, 另一种方法是使用 OSD 的工具生产可视的 OSD, 然后通过工具软件自动转化为代码加入到程序中。后者将逐渐取代前者。但在本方案中依然采用前一种方法实现 OSD。ATV (Analog TV) OSD 是一个简单的单色字符型菜单, 包含控制图像模式 Picture Mode (Brightness, Contrast, Saturation, Tint), 设置 Setting (Language, Zoom, Reset), 频道 Channel (Cable/Air, Tune, Auto, Skip) 等等属性, 在此不做详细的介绍, 主要介绍 DTV (Digital TV) 菜单如何实现。

如图 4-14 所示, 根据客户的要求, 此系统菜单显示在电视屏幕的中央, 图中主菜单包括三大项: CHANNEL (频道管理)、OPTION (基本选项的设置)、LOCK (各类锁设置); 每个大项下又包含多个小项 (又称为 submenu), 通过遥控器上下键选择。

其中 CHANNEL 项的子项包括: Channel Scan 自动搜台, Channel Add 增加频道, Channel Edit 频道编辑, Manual Scan 手动搜台;

OPTION 项的子项包括: Clock 闹钟, Aspect Ratio: 屏幕比例, Language 菜单语言种类, Caption Select: 字幕选择, DCC View: DCC 字幕打开

LOCK 项的子项包括:

Lock System 系统锁, Set Password 设置系统密码, TV-Rating-Children 童锁, TV Rating-General 分类锁, Moving Rating 等级锁, Downloadable RRT 区域锁;

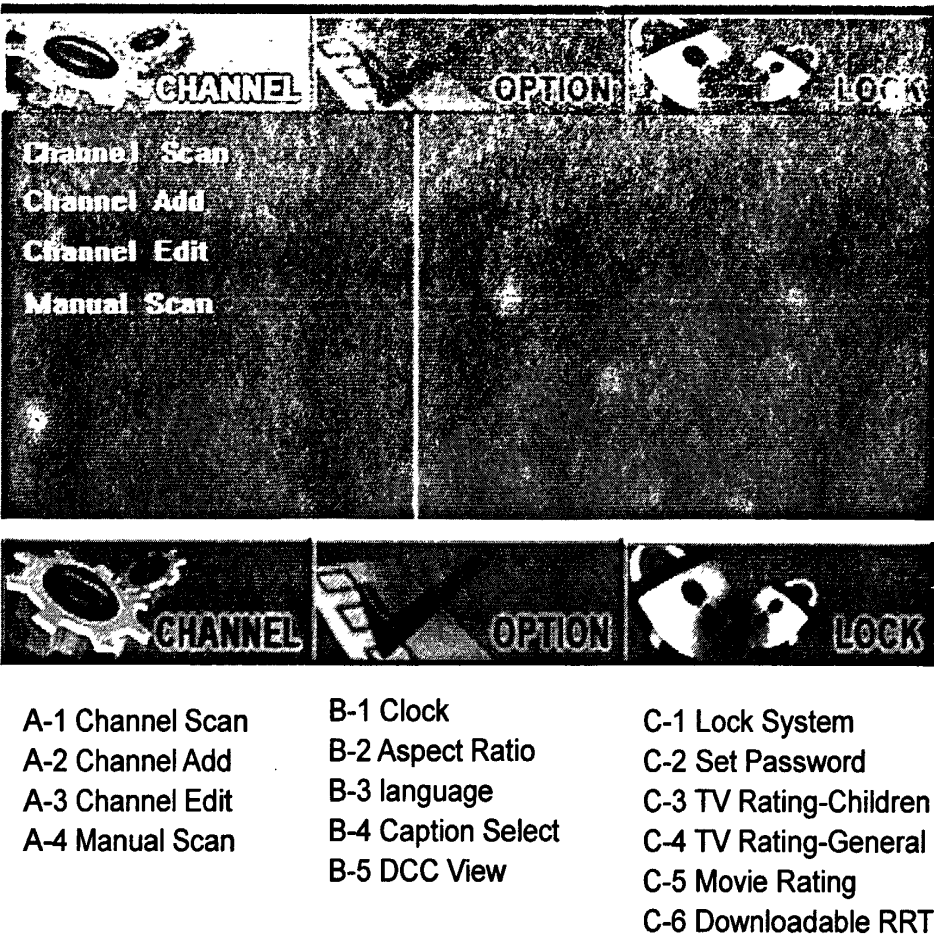


图 4-14 OSD 示意图

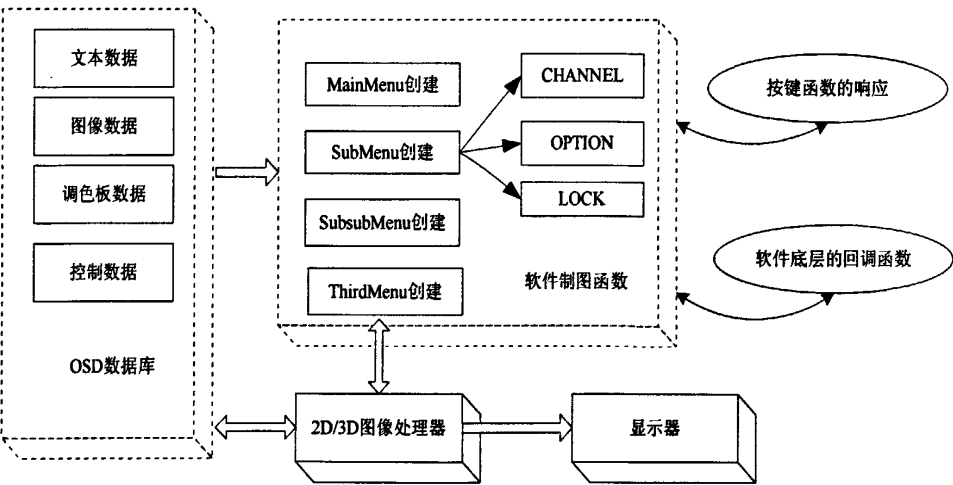


图 4-15 OSD 体系结构

图 4-15 中描述的 OSD 系统由四个层次组成，从左到右依次是：OSD 数据库；软件制图函数；2D/3D 图像处理器，显示器。OSD 数据库是设计 OSD 所需的解基本元

素，包括：文本数据，图像数据，调色板数据，控制数据，它们构成了我们在电视屏幕上看到的菜单视图；软件制图函数是接受外部按键命令和软件底层回调函数，响应相应的事件的处理部分；2D/3D 图像处理器由制图函数发出的图像和 OSD 信号经过这一部分的处理，最后显示在 Display 显示器上，与用户交互；其中前两部分在软件模块当中实现，后两部分属于硬件处理部分。

4. 6 IR 的发送与接收

如图 4-16，红外接收器 KSM603LM2E，它是一个组件的形式，通过三根线与电视机的主板相连^{[37][45]}。红外接收器由红外接收器二极管，放大器，带通滤波器，检波器及整形电路构成，它的作用是将接收到的电磁波转化为电信号，并对其进行放大，检波，产生脉冲编码信号，通过中断方式送至控制芯片 ARK1839A 的引脚 17（p1.0/REMOTE）。如图 4-17，遥控系统组成中的控制芯片（ARK1839A）就对脉冲编码信号进行译码，识别，根据译码的结果，按固定程序输出相应的控制信号（如调谐，频道转换，音量，亮度，色饱和度，对比度等控制电压），控制电视机的相应电路，完成相应操作。

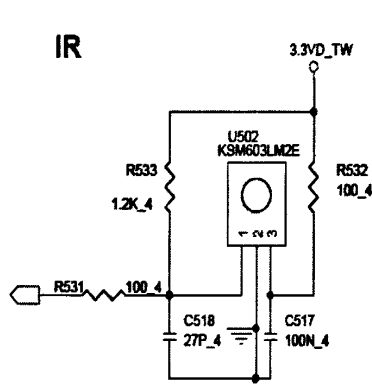


图 4-16 红外遥控接收器电路

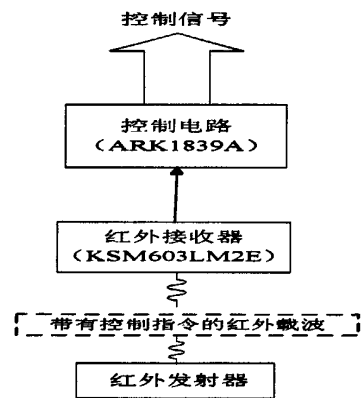


图 4-17 遥控系统的组成

4. 6. 1 遥控码的分类和波形图

红外遥控是目前使用最广泛的一种通信和遥控手段^{[38] [39]}，由于红外遥控装置具有体积小，功耗低，功能稳定等特点，因而，继彩电、录像机、音响设备、空调机以及玩具等其他小型电器装置上也纷纷采用红外设备中，在高压、辐射、有毒气体、粉尘等环境下，采用红外遥控不仅完全可靠而且能有效的隔离电器间的干扰。

遥控发射专用芯片有很多，根据编码格式通常可以分为两大类：NEC 码和 RC5 码。

NEC 格式的特征：使用 38kHz 载波频率；引导码间隔是 9ms+4.5ms；使用 16 位

系统码（也称为客户码）；使用 8 位数据代码和 8 位取反的数据代码；

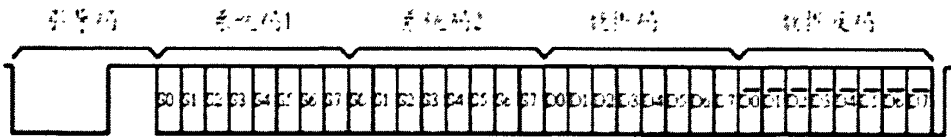


图 4-18 遥控信号 NEC 编码波形图



图 4-19 引导码

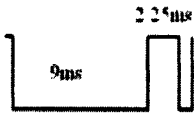


图 4-20 连发码

NEC 码采用的是脉宽调制的串行码，以脉宽为 0.565ms，间隔 0.56ms，周期为 1.125ms 的组合表示二进制的“0”，以 0.565ms、间隔 1.685ms、周期为 2.25ms 的表示二进制的“1”，其波形如下图：

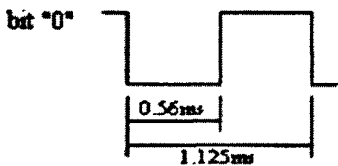


图 4-21 二进制“0”波形

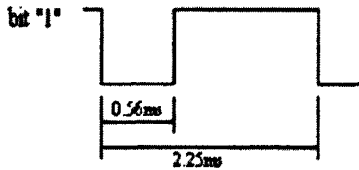


图 4-22 二进制“1”波形

4. 6. 2 遥控器解码在软件中的实现

```
void SendNEC8IR(void) interrupt 1
{
    //---对 T0 进行赋初值---//
    TR0 = OFF;
    TH0 = TIME_560US >> 8;
    TL0 = TIME_560US & 0xff;
    TR0 = ON;    //发送低 8 位

    /*虚拟红外波形*/
    if(sendRemotCodeflg)
    {
        if(fagHL)
        {
            IR_OUT = 1;
            if(--contWidthH == 0)
            {
                //提取客户码发送
            }
        }
    }
}
```

```

        if(--contDat >= 18)
        {
            if(((customCode >> (33 - contDat)) & 0x01) == 0x01) //从低位发送
            {
                contWidthH = WIDTH_1;
            }
            else
            {
                contWidthH = WIDTH_0;
            }
        }
        //提取红外按键值发送
        else
        {
            if(contDat > 1)

            if(((sendRemoteKeyVal >> (17 - contDat)) & 0x01) == 0x01) //从低位发送
            {
                contWidthH = WIDTH_1;
            }
            else
            {
                contWidthH = WIDTH_0;
            }
        }
        else
        {
            if(contDat == 1)
            {
                contWidthH = WIDTH_9MS;
            }
            else
            {
                sendRemotCodeflg = 0;
                IR_OUT = 1;
                ET0 = OFF;
            }
        }
        fagHL = 0;
    }
}
else

```

```

    {
        IR_OUT = 0;
        if(--contWidthL == 0)
        {
            fagHL = 1;
            contWidthL = WIDTH_L;
        }
    }
}
}
```

5 数模一体机功能和性能的测试与分析

在所有的硬件和软件基本功能都实现以后，接下来就是对整机的功能和性能进行全面的，多次循环的测试，分析以及完善，以达到在批量生产之前的标准，稳定性好，功能正常，客户体验友好才能有稳定的客户群，因此接下来介绍在研发的过程中对整机的性能和功能测试过程。如图 5-1 所示的性能和参数测试方框图：

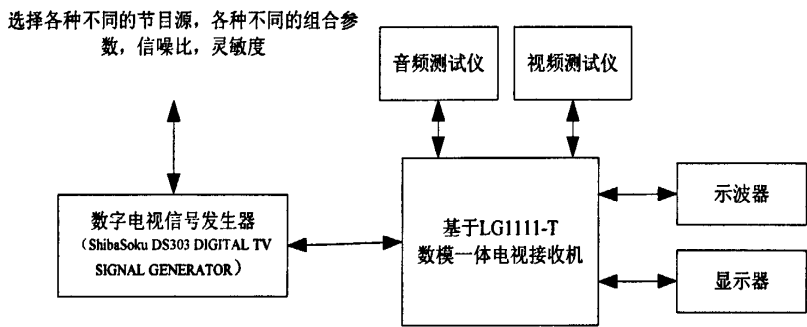


图 5-1 性能和参数测试方框图

基本功能和性能测试：
对整机测试所用到的工具：

- 1、测试碟
- 《蜘蛛侠 1》，测试内容：红底蓝底竖条
- 《金刚》 ， 测试内容：蓝底横条
- 2、信号发生器（数字射频，模拟射频信号发生器）
- 模拟信号发生器型号：FLUKE PM 5415 COLOR TV PATTERN GENERATOR(彩条电视信号发生器)
- 数字信号发生器型号：ShibaSoku DS303 DIGITAL TV SIGNAL GENERATOR
- 3、示波器
- Tektronix TDS1012
- 4、万能表
- 数字：MASTECH MY-60
- 5、DVD 机： 步步高 v2.20
- 6、各类接口线（RF， CVBS、YUV， S 端子等）
- 7、稳压电源：u-TEK DC POWER SUPPLY PS305D
- 8、电源适配器：9V， 12V

由于国内电视台不发射 ATSC 标准的数字电视信号源，所以必须用一台数字电视信号发生器发射出 ATSC 信号，然后将 RF 线与之连接到数模一体机的高频头，设定好信号强度，可测能否收到 Cable 信号，如果是通过无线发射可测能否收到 Air 台，在频道节目正常播放的情况下（例如：灵敏度的测试结果），根据 LCD TV 机种评估作业规范，操作遥控器或者本机控制面板上的按钮，开关机，待机，转台，AV/TV 之间或者各个通道之间的转换时否有异常；Menu 菜单各个项的功能，比如 EPG 功能，CC（包括 DCC 和 ACC）字幕功能，V-CHIP 功能，数字键，Mute 键，Volume 键，方向键等等是否达到了要求。这些测试过程是多次的，循环的，严谨的，经过不断的努力和完善，系统正常实现了各个预先设定的功能，界面客观，系统稳定，操作状况良好。

表 5-1 灵敏度的测试结果（8VSB）

8VSB							
dBuv					dBuv		
CH	低	高	拉天线	CH	低	高	拉天线
2	24	112		36	24	119	
3	24	118		37	24	119	
4	23	111		38	24	119	
5	22	110		39	25	119	
6	23	110		40	25	120	
7	28	115		41	24	120	
8	25	114		42	24	120	
9	24	113		43	24	120	
10	24	113		44	24	120	
11	24	113		45	24	120	
12	23	113		46	24	120	
13	23	113		47	24	120	
14	25	114		48	24	119	
15	25	113		49	24	120	
16	25	113		50	24	120	
17	25	112		51	24	120	
18	25	112		52	24	120	
19	25	112		53	24	120	
20	25	112		54	24	118	

21	25	111		55	24	117	
22	25	111		56	24	120	
23	25	111		57	23	120	
24	25	111		58	24	120	
25	25	110		59	23	119	
26	25	110		60	23	119	
27	25	109		61	24	119	
28	24	109		62	24	119	
29	24	109		63	24	119	
30	24	109		64	25	119	
31	24	109		65	24	120	
32	24	110		66	25	120	
33	24	111		67	26	120	
34	24	111		68	25	120	
35	24	112		69	26	120	

6 总结与展望

6.1 全文总结

本文论述了基于 LGDT1111-T 数字电视芯片为核心, 辅以 ARK1839A 微控制器的硬件平台, 在 uC/OS-II 嵌入式实时操作系统下实现搜台, 换台, 遥控码的发送和接收和软件上的控制, GUI 的设计与实现方法, 以及对项目各方面严谨的测试。文中论述的各个功能模块都已经过严格的测试, 功能和性能都比较稳定。

本论文的主要创新点和研究成果:

1、完成了一种主要针对 ATSC 数字电视标准,并且同时可以接收 NTSC 模拟标准电视信号的数模一体接收机, 小尺寸, 轻巧, 便携, 该整机功能和性能基本正常。

2、在软件系统中采用了 uC/OS-II 的基于优先级调度的抢占式的实时嵌入式操作系统, 完成了再操作系统上的软件应用、移植和链接等功能。

3、采用了 I2C 总线通信协议, 大打简化了电路结构, 增加了电视机的可靠性, 软件也得到了优化。

4、电视 UI 互动界面操作简单方便, 软件非常成熟, 稳定, 有利于推广和升级。

对软件开发的一些思考总结:

在数字电视越来越智能化的今天, 对于嵌入式软件的开发提出了更高的要求, 软件开发人员不仅要从软件功能完善程度和效率的提升方面努力, 而且软件架构上也要作为重点的考虑对象, 这样做的目的是增加软件的可维护性, 可复用性, 可扩展性和可移植性。在现有的条件下, 随着硬件的性价比不断的提升, 硬件 (比如: CPU) 的运行速度基本能够满足系统软件的要求, 关键就在于对软件的优化和其功能的完整性和通用性, 稳定性。一个好的软件系统可以降低成本, 缩短开发周期, 为企业、为社会带来巨大的好处; 此外一个产品的客户体验也是至关重要的, 如今数字电视接收机和客户的交互功能 (比如对 MENU 操作, Web 浏览器, 多媒体的播放等等) 所占比重日益增大, 而这种交互功能又和软件的质量, 效率有直接联系, 因而, 作为软件开发人员要不断的更新自己的软件知识, 提高软件管理和改进的能力, 以适应数字电视接收机对软件系统的高要求^[46]。

6.2 下一步工作展望

由于数字电视正向着功能多样化的方向发展, 除实现数字高清晰度电视外, 提供多种创新的服务方式也是数字电视的发展趋势^[42], 如今广播电视网, internet 网和通讯网的三网融合, 以及 LED 技术的发展再一次造就了一个具有划时代意义的技术——平板时代, 电视不仅具有收看电视节目的功能, 还有许许多多电脑和移动设备的功能,

还可以享受更多的服务；随着 googleTV 的推出，目前的在高新技术下产生的 IPTV 和 3DTV 都将很快的推向市场，并且将应用到千家万户，因此，在高新技术日新月异的背景下，我们日后的研究工作主要是针对 IPTV 和 3DTV 这两大领域做深入的开发，并应用于产品上去，所以我们的研究工作任重而道远，需要不断的学习新知识，适应新科技下的产品的研发，将更多的造福于人民的生活，给人们带来更多的方便和更好的体验，有新一代的 TV 的陪伴，让人们的生活更加丰彩。

参考文献

- [1] 陈超逸. 基于“三网融合”的中国数字电视发展战略研究[D]. 天津:天津大学硕士论文, 2009,5
- [2] ATSC Digital Audio Compression(AC3) Standard—Revision A[S]. Advanced Television System Committee Washington,DC.,Doc A52A.2006.
- [3] Jerry Whitaker. 数字电视接收技术.[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [4] 李建,吴久清,陈宁. 大屏幕液晶数模一体电视机的设计实践[J].电视技术,2009,33(11):50-53.
- [5] 孙学群. 数字电视软硬件体系分析及系统设计的研究[D]. 成都:电子科技大学,2005.
- [6] 林德志. 美国 ATSC 制式大屏幕液晶电视硬件设计[D]. 厦门:厦门大学,2008.
- [7] 黄莹莹. 数字电视地面广播接收与解调系统的研究和实现[D]. 北京:北京邮电大学,2008.
- [8] ATSC Standard A/54 Guide to the Use of the ATSC Digital Television Standard,Revision A[S],2003.12
- [9] Philips Semiconductors. TDA9885/TDA9886 I2C-bus controlled single and multistandard Alignment-free IF-PLL demodulators[Z]. October,2002.
- [10] 彭迪. 基于 ISDB-T 标准的手机数字电视接收平台的设计与实现[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
- [11] 北京凌讯华业科技有限公司,清华大学. DMB-TH 地面数字电视传输技术白皮书 [M].2006,5:58-62.
- [12] 杨琳,张琨生,杨怀祥.彩色电视原理(第5版)[M].南京:东南大学出版社.2008,1.
- [13] 卢官明,宗昉.数字电视原理(第2版)[M].北京:机械工业出版社.2008,4.
- [14] ATSC :ATSC Digital Television Standard—Revision B[S]. Advanced Television System Committee, Washington,DC.,Doc A53B.2006.
- [15] ATSC:Program and System Information Protocol for Terrestrial Broadcast and Cable—Revision B[S]. Advanced Television System Committee, Washington,DC.,Doc.A65B 2006.
- [16] 余兆明,余智. 数字电视原理[M].西安:西安电子科技大学出版社.2009,2.
- [17] 鲁业频,朱仁义,孔敏,袁宗文. 数字电视原理与应用技术[M].北京:国防工业出版社.2009,3.
- [18] 刘毓敏. 数字视音频技术与应用[M].北京:电子工业出版社. 2003,1.
- [19] 郑文,翟希山,王志广.金正.数字电视原理、传输与接收[M].北京:人民邮电出版社.2006,5.
- [20] 柏祥.数模一体电视机通用处理方案[N].消费电子设计,2007,3,8(4).
- [21] 陈珊,俞斯乐,李华,国澄明. 数字电视接收机的软件系统[J]. 高清晰度电视.2000,9(219):6-10
- [22] LG Electronics Inc. D2A1T LGDT1111-T Datasheet Ver. 1. 01[Z].2008,3,17
- [23] Arkmicro Technologies Inc. ARK1839A Video Display Controller Version1.1[Z].2009.8.
- [24] http://baike.baidu.com/view/1539152.htm?fr=ala0_1_1
- [25] 郑志航. 数字电视原理与应用[M]. 北京: 中国广播电视出版社,2001.

- [26] 刘伟华,刘仁学. 基于 S3C2440 与 Linux 的 ARM9 嵌入式系统的构建[J]. 冶金自动化,2008(2):409-411
- [27] uC/OS-II 中文资料大全[S].
- [28] Guido Arnout.PowerEscape Low Power by Design:Maximizing Data Efficiency for Power&Performance White Paper[Z],2005.
- [29] 师晓卉,秦水介. 嵌入式 Flash 存储器控制器的设计方法[J]. 电子测量技术, 2006,5:5-7.
- [30] 揭扬. 地面数字电视接收机软件系统的研究与应用设计[D]. 武汉:华中科技大学.2006,5
- [31] 罗新洪. 数字电视地面广播标准的比较分析[J]. 西部广播电视.2003(1):15-18
- [32] 俞斯乐. 电视原理 (第 6 版) [M]. 北京:国防工业出版社,2008.
- [33] LG INNOTEK Co.,Ltd. Multi Media Tunner Digital Half-NIM Tunner with Analog Demodulator TDVW-H104F[Z].2009,6,10.
- [34] 胡雪芬. 基于 ATSC 标准的数字电视搜换台功能的研究与实现[D]. 天津:天津大学.2006.
- [35] 武文斌. 数模电视一体机搜台/换台的实现[D]. 天津:天津大学,2007
- [36] 求是科技. C 程序设计完全手册[M]. 北京:人民邮电出版社.2006.
- [37] <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/nec.htm>
- [38] 冯志强,张超. ATSC 制数字电视机顶盒研究[J]. 电子工程师. 2003,29(3):24-26
- [39] 谭浩强, C 语言程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [40] 杨桥新, 丁翔, 王景. 国际上通用的几种数字电视传输标准[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2006,3:58-62.
- [41] 刘达,龚建荣. 数字电视技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2005.
- [42] 李宜章,戴学丰. 数字电视一体机的软硬件架构参考模型设计[D]. 齐齐哈尔:齐齐哈尔大学,2009.
- [43] Renesas Technology Corp..Demonstration Software for DVP-C8 Reference Board and Software Requirement Specification[Z].September,2009
- [44] 莫晏光,代文化. 多功能移动数字电视的研究与开发[J]. 通信技术.2009,42(7):119-121
- [45] 陈珊. ATSC 数字电视接收机分级控制的软件实现[J]. 电子测量与仪器学报.2001,15(4):69-77
- [46] Sami Zahran 著, 陈新, 罗劲枫等译. 软件过程改进[M]. 北京:机械工业出版社 2002,8.

硕士期间发表论文和参加科研情况

发表论文:

基于美国 ATSC 便携式液晶数模一体机设计研发[J]. 光学与光电技术, 2011, 3(9): 8-11. (第一作者)

参加研发项目情况:

深圳泰霖科技有限公司项目:

- (1) 广州星辉 (STARLITE) 公司 7 寸数字电视的研发
- (2) 群创光电 (富士康电子集团) 7 寸、9 寸数字电视研发
- (3) 深圳高飞 (COBY) 电子有限公司 IPTV 数字电视的研发

后记

本论文是通过阅读大量的相关资料，通过实践和近一年半在公司实习，以及每天的总结写出来的具有可借鉴性的论文，希望对行业内的同仁有参考的价值。

在论文撰写接近尾声的时候，回顾研究生阶段的学习和生活以及工作，我深感自己这三年来都是非常充实的，收获也是很多的，这不仅包括知识面的加宽、加深，工作的综合能力得到了很大的提高，更重要的是我对生活和未来的发展有了一个全新的认识，使我的思想更进了一步。我的每一个进步与提高，都离不开我的导师—邓家先教授的谆谆教导。

攻读硕士学位期间，邓老师在学习、生活和思想上都给了我悉心的指导与帮助。邓老师渊博的知识和丰富的实践经验让我学到了许多专业知识和科学研究方法，这将让我受益终生。感谢邓老师，给我创造了一个良好的学习环境和，论文创作平台，使我在学习期间能高效地提高理论知识，并将理论知识充分地应用于实际工作中；更要感谢邓老师给我的这次宝贵的实习机会，在深圳实习的一年半里面，我领悟了很多，懂得了很多，从专业技能到实践应用都跨了一大步；在此，向邓老师致以最诚挚的谢意！

也特别感谢朝夕相处的实验室的同学们，感谢在深圳泰霖实习的同事们对我的帮助，在做项目和写论文期间感谢季明经理，徐永恒软件工程师，邓振波硬件工程师，这三位前辈的耐心的指导和帮助。感谢深圳泰霖科技有限公司给我的这次实习机会，和 Renesas, LG、Skyvia 等一些合作伙伴公司给我的培训和教导！

感谢母校海南大学对我三年的培养，在这里的人生经历和学到的知识将是我一生宝贵的财富！对于研究生管理部门和曾水香老师的辛勤劳动表示衷心的感谢！

最后，我要深深地感谢我的父母、姐姐和女友对我的大力支持，是他们无微不至的关心和帮助支持着我不断前进，感谢他们为我付出的一切！

肖勇

2011 年 5 月