

摘要

传统的固定视频业务已经难以满足媒体信息多元化的要求，随着全球移动数字电视广播网络的建立和完善，手机电视和 DMB（Digital Multimedia Broadcasting）产品正在悄然兴起。

2005 年面向地面数字用户的韩国 T-DMB 标准(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting)正式启用，其广播频段为 L-BAND（1452MHz~1492MHz）和 BAND-III（174MHz~245MHz）。目前，国内的北京、上海和广东已相继开播支持 T-DMB 制式的频道，其中上海东方明珠电视塔于 2007 年始全天播放 T-DMB（L-BAND）的节目，并为面向 2008 年奥运会数字加密频道的播出积极做准备。

本文研究了 T-DMB 的传输系统，设计了一种 T-DMB 接收系统的方案，并对 Irdeto CAS 协议进行了解析，提出了面向 T-DMB 全频道节目解码的流程。所设计的播放器支持 L-BAND 和 BAND-III 频段的节目接收，在 T-DMB 广播区域可进行频道自动搜索，并在上海地区成功实现了基于 Irdeto CA 系统的加密频道播放。系统射频信号接收的最小灵敏度良好，在天线未作最佳匹配的条件下实测可达-95dBm 以上，播放画面流畅清晰。

系统硬件平台分为两个部分，射频信号接收模块和基带功能电路。射频信号接收模块包括可接收 T-DMB 信号的天线、前端 RF 模块和 CA 智能卡；基带电路包括 SH7363 主处理器、电源电路、3.2 寸电阻触摸式 TFT-LCD、Mini-SD 记忆卡接口、USB2.0 接口、带立体声耳机和喇叭功放的 CODEC、存储芯片等，设备采用聚合物锂电芯供电并支持交流电源或 USB 电源适配器充电。

系统软件实现也分为两个部分，包含 MPEG-4 数据的 TS (Transport Stream) 码流解码和基带功能的驱动开发。其中基带功能的驱动开发和 SH7363 的主程序移植是基于日本 T-Kernel 嵌入式操作系统完成，而包含加密频道的 TS 码流节目解码为系统软件功能开发的核心部分。

目前，中国的移动数字电视标准并未正式统一和执行，而笔者所参与设计的 T-DMB 播放器已经实现了基于 T-DMB 制式的频道搜索和节目解码，并能达到相对良好的播放效果，可为日后基于国标制式的播放器方案开发作参考。

关键词：移动数字电视，T-DMB，CAS，SH7363

Abstract

The conventional static video service is hard to satisfy customer's requirement for media information diversity, as the establishment and improvement of the global mobile digital TV broadcasting network, cell phone TV and DMB(Digital Multimedia Broadcasting) product will be coming soon later.

In 2005, the T-DMB(Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting) standard which facing to terrestrial users in Korea has been implemented, the T-DMB broadcasting frequency range is divided to L-BAND(1452MHz~1492MHz) and BAND-III(174MHz ~ 245MHz). Now in Beijing , Shanghai and Guangdong provinces the digital channels based on T-DMB standard is starting, and the Shanghai Oriental Pearl television tower has broadcasted different channels based on T-DMB(L-BAND) since 2007, it also prepare actively for 2008 Olympic Games digital encryption channels.

In this paper, the T-DMB transport system is researched, and one kind of T-DMB receiving system scheme is also designed, then the Irdeto CAS profile is resolved and the program decoder flow for T-DMB full channels is proposed in it. The designed player supports the channels in the L-BAND and BAND-III frequency range, it can search the programs automatically in T-DMB area, and it's successfully to realize encryption programs playing based on Irdeto CAS in Shanghai. This T-DMB player can reach -95dBm sensitivity in L-BAND ignoring whether the antenna match network is optimum, and the program video is fluent and clear.

The system hardware platform can be divided by two parts: RF signal receiving module and base band performance circuit. The RF signal receiving module includes T-DMB antenna、front end RF module and CA smart card; the base band circuit includes SH7363 processor、power circuit、3.2 inch TFT-LCD with resistance touch panel、Mini-SD card interface、USB2.0 interface、CODEC with stereo headphone and speaker amplifier、memory IC, etc. The device power is from Li Polymer battery and it can be charged by AC adaptor or USB(VBUS) power.

The system software implement is also can be divided as TS with MPEG-4 information decoder and base band performance driver development. The base band performance driver development and SH7363 main program transplant are based on Japanese T-Kernel embedded OS, and TS program decoder including encryption channel is the core part for system software performance development.

At present, the mobile digital TV standard in China hasn't unified and implement yet, but the T-DMB player in this paper discussed has accomplished channel searching and decoder under the T-DMB standard successfully, and gained the good playing performance, so it may can be referred by DMB player scheme based on Chinese standard later.

Key words: Mobile DTV, T-DMB, CAS, SH7363

独 创 性 声 明

本人声明，所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得武汉理工大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

签 名: 熊欣 日 期: 2008.5.18

关于论文使用授权的说明

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定，即学校有权保留、送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

(保密的论文在解密后应遵守此规定)

签 名: 熊欣 导师签名: 李汉波 日 期: 2008.5.18

第1章 绪论

本章将简要介绍当前世界范围内移动数字电视地面广播标准，提出本文的主要研究任务和意义，同时给出本文的主要内容及组织结构。

1.1 移动数字电视标准的发展

世界各国已经建立的移动数字电视标准包括：S-DMB、T-DMB、DVB-H、ISDB-T 和 MediaFLO 等^[1-5]，并且在许多国家和地区都已达到商用普及，如欧洲、北美、韩国和日本。随着技术的发展和研究的不断深入，在移动接收、频谱效率、单频网、干扰和灵活性等方面，上述系统的特点也日趋明显，如表 1-1 所示。

表 1-1 移动数字电视标准的规范

移动电视标准	S-DMB	T-DMB	ISDB-T	DVB-H	MediaFLO
地域分布	韩国、日本	韩国、中国、欧洲	日本	欧洲、北美	北美
广播频段	2.6GHz	VHF、L 波段	VHF、UHF	UHF、L 波段	UHF
每台发射机的信道数目	10 到 20	3	13	9	20
调制技术	CDM	OFDM	OFDM	OFDM	OFDM
内调制技术	QPSK、8PSK 和 16QAM	差分 QPSK	QPSK、差分 QPSK、16QAM 和 64QAM	QPSK、16QAM 和 64QAM	QPSK 和 16QAM
信道编码	RS+Conv	RS+Conv	RS+Conv	RS+Conv	RS+Turbo
帧率(帧数/秒)	12 到 30	15 到 30	15 到 30	12 到 30	15 到 30
视频编码技术	H.264	H.264	H.264	H.264	H.264
带宽(MHz)	5	1.712	6、7 和 8	5、6、7 和 8	5、6、7 和 8
功耗降低技术	频域交换	时间切片	频域交换	时间切片	时间切片和频域交换
起源	日本东芝公司私有技术	DAB	ISDB	DVB-T	美国高通公司私有技术

T-DMB (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting) 标准是韩国推出的地面多媒体数字广播系统，它源自欧洲数字音频广播(DAB)规范 EUREKA-147。韩国和德国均开发了改良的商业化 T-DMB 标准，新标准沿用了 DAB 物理层，但增加了一个额外的纠错层，新增纠错层采用了具有卷积交织功能的 Reed Solomon 机制。音频/视频流被编码压缩成 MPEG-2 传输流。T-DMB 系统通过重用 DAB 的频段和发射站来节约数字射频网络架构建设费用，使得业务商以最小的代价快速地创建分发网络，快速地进入市场。

当无法采用地面发射塔组成的网络时，卫星广播版本的 S-DMB (Satellite-Digital Multimedia Broadcasting) 提供了另外一种业务分发方法的选项，它采用的是不同于 T-DMB 的私有编码格式。S-DMB 是将数字视频或音频业务通过 DMB 卫星进行广播，是一种可以在很宽广的地区充分满足移动用户接收视频广播电视的要求。目前由于 S-DMB 建网成本相对较高，需要专门的 DMB 卫星支持，故此方案缺乏市场竞争力。

ISDB-T(Terrestrial-Integrated Service Digital Broadcasting)标准广播频段为 218~222MHz (VHF, ch.7) 和 470~770MHz (UHF)，可以把一个 6MHz 频道切割成 13 个频段，利用其中 12 个频段播放家用数字电视节目，ISDB-T 剩余的 1 个频段 (1segment) 则用于以手持设备为接收终端的节目的广播^[6]。这大大方便了移动设备开发商，可以利用固定接收机开发技术，并且为了降低费用还可以仅仅针对单个频段开发移动接收设备。

DVB-H(Handle-Digital Video Broadcasting)是由 DVB 联盟开发的数字视频广播手持标准，于 2004 年 11 月正式被采纳为 ETSI 标准。该标准由 DVB-T 标准演变而来，为使之更适合移动设备接收，对 DVB-T 标准进行了许多修改，通过重用 DVB-T 的数字电视发射网络来降低网络成本。但是，DVB-H 不采用 DVB-T 的频段，而是选择与其共存。DVB-H 信号是复用在一起通过 DVB-T 发射的几个视频流中的一个。拥护者指出 DVB-H 允许业务提供商以最小的额外投资同时开展固定和移动电视业务。

美国高通公司开发的 MediaFLO(Media Forward Link Only)标准专为移动电视分发业务设计，这是移动数字电视标准中唯一的私有标准。为了降低网络架构的建设费用，MediaFLO 采用了另一种不同的方法：最小化所需的发射机站点数目。MediaFLO 利用专用频谱，采用单一的高功率发射机（一般 50kW）发射信号，或者采用较少数目的发射塔发射信号。采用大功率发射信号，发射机相

互之间的空间间隔可达 60km,因而达到了广域覆盖。此外,完整的城域覆盖一般只需要小于或者等于 3 个发射站点即可实现。

这些移动多媒体广播分发方案可以帮助开发商降低电视业务的功耗需求。例如, DVB-H 提供了时间分片技术,允许接收机在长达 90% 的时间内关闭,而仅仅需要 10% 的时间接收待定的信道信号。ISDB-T 系统限制了移动视频仅仅占据广播信号的一段信号,从而允许将窄带调谐器设计为功率高效率的调谐器。MediaFLO 同时提供了时间分片和窄带操作技术,帮助开发商节省功耗。

当然,上述各种标准之间还有许多其它差异,对应于不同参数的系统性能也会不同。比如,在某个地区广播频段所能提供的频道节目的数目,节目之间切换的时间长短,能够允许的接收机移动的最大速度以及发射站所能覆盖的地域面积等,当然,在某一地区系统分发网络的成本也是决定何种标准能够成功入选的因素。

预计在未来两年内成为强制性国家标准的、拥有中国自主知识产权的 DMB-TH (Terrestrial Digital Multimedia TV/Handle Broadcasting),是融合了清华大学DMB-T技术方案的最新研究成果,其覆盖范围、抗干扰能力、接收性能、系统稳定性等方面比原有DMB-T 技术有明显提高^[7-11],其传输系统原理如图1-1 所示。DMB-TH 技术的核心采用了mQAM/QPSK的时域同步正交频分复用 (TDS-OFDM : Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 调制技术,使用了最新的LDPC前向纠错编码技术,采用单频网 (SFN) 覆盖方式,适用于具有多径干扰和多普勒频移效应的地面无线传输信道,能够满足高清数字电视 (HDTV) 、标清数字电视 (SDTV) 点对多点式单向广播和多媒体数据交互式双向通信的要求。基于国标DMB-TH构建的地面数字电视广播系统,在一个8MHz模拟电视频道中,传送MPEG-2 TS (Transport Stream) 流格式数据时最大净荷码率可达32.4Mbps,可传送1套HDTV节目或4套以上SDTV节目,支持室内室外用户采用固定接收终端实现固定接收或采用手持或便携移动接收终端实现移动接收。

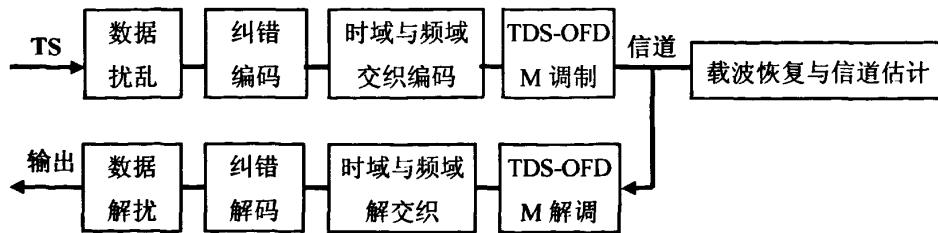


图 1-1 DMB-TH 传输系统原理

1.2 主要任务与意义

1.2.1 移动数字电视的应用前景

在移动数字电视和手机电视的商务运营上，亚洲走在了前列，亚太地区尤其是日韩两国在 2005 年率先开通了手机电视服务，其中，韩国基于 T-DMB 的手机电视业务已经开始大规模应用。而在欧洲，芬兰于 2005 年 11 月才颁发了欧洲第一个移动数字电视（DVB-H）许可证，德国也是为了应对 06 年世界杯足球赛才开始提供 T-DMB 的手机电视业务。在美国，高通公司计划在全美部署一个 MediaFLO 的手机电视网络，并且在 2007 年推出手机电视服务。

目前，国内针对移动数字电视的地面广播已经于 06 年下半年开始在北京、上海和广东做了试点播放^[12-13]，在北京和广东采用的频段都是 VHF BAND-III（11A,11B,11C,11D），而上海东方明珠采用的是 UHF L-BAND 频段（1458.096MHz 和 1470.080MHz）。2007 年以来，上海文广集团在 1470.080MHz 的中心频点上已投入商用的电视内容包括 1 套财经新闻、1 套奥运频道节目和 DAB 广播（3 个频道），同时还在 1458.096MHz 的中心频点上提供加密频道节目，包括 1 套体育、2 套实时新闻和股票、气象、外汇等咨询增值服务。

1.2.2 本课题的任务与意义

本文所介绍的 T-DMB 手持播放器，正是为了满足国内市场对移动数字电视业务的需求所设计的，并且需要支持 L-BAND 和 BAND-III 的所有频道。目前，此播放器适用地区限为上海（Irdeto 加密系统）和北京（Coretrust 加密系统，但目前是开路广播），暂不对应广东地区的地面广播，因为其加密系统入门费用太高。

其实，从技术上来说即将推行的国标 DMB-TH 系统已经成熟，但目前尚缺乏接收和解调性能良好的方案，再加上基站建设和运营商的支持还不完善，因此 T-DMB 标准仍是未来两年内国内移动数字电视业务的主流。为了抓住 2008 年北京奥运会对数字电视业务需求的契机，手持 T-DMB 多媒体终端势必成为业内各方案公司开发的重点领域。本文所提出的 T-DMB 终端方案，不仅是为了实现这一目的，更是为了设计出日后支持国标的接收终端而所做出的探索。

1.3 本文的主要内容和组织结构

本文是在基于 T-DMB 标准的关键技术和背景下，重点研究了该 T-DMB 播放器方案中硬件平台的设计，介绍了所搭载的操作系统和驱动开发环境，详述了对 TS 流尤其是 CA 系统加密后的频道节目解码流程，最后提出了测试方案并对系统进行了性能测试和分析。

主要研究了：

- (1) 系统硬件设计：重点介绍了 T-DMB 的前端 RF 接收模块选型和设计，以及主处理器 SH7363 对 TS 流的解码和系统控制部分，用详细框图讲述了各功能电路的实现。
- (2) 系统软件实现：MPEG-2 TS 流的解码流程，并重点叙述了在上海地区对 Irdeto 加密系统的频道节目接收和解码的实现。
- (3) 系统性能测试和分析：通过测试仪器和空中信号，分别测试了播放器在主要频点的接收灵敏度性能，及频道搜索和节目播放流畅性，分析了系统的性能特点，并对发现的问题提出了下一步改进方法。

论文总共分为 6 章，结构安排如下：

第 1 章 绪论，本章主要介绍当前世界范围内移动数字电视的标准和特点，指出目前国内 T-DMB 标准的应用前景，提出本文的主要任务和研究意义；

第 2 章 T-DMB 传输系统研究，本章主要介绍 T-DMB 标准的发展、协议框架、传输系统和关键技术，剖析了 T-DMB 传输系统的基本框架；

第 3 章 硬件平台设计与实现，本章比较详尽的叙述硬件平台的设计与实现，以及在开发过程中所用到的关键技术，包括基于 RF 模组和 SH7363 多媒体处理器来实现 T-DMB 信号接收和基带功能的实现，其中涉及到天线的选型和匹配、RF 模组的设计技巧、条件接收（CA）智能卡的工作原理、触摸屏的应用、实时时钟（RTC）的工作原理以及低功耗电源管理电路的设计等；

第 4 章 软件系统关键模块分析，本章介绍了 T-Kernel 嵌入式操作系统下的程序开发流程、MPEG-2 TS 流组成结构和分组解析，重点讲述了 Irdeto CA 系统在 TS 流中的解扰和解密实现等；

第 5 章 系统测试与性能分析，本章主要介绍了播放器的软硬件测试环境和主客观测试方法，以及对播放器接收性能作出了分析；

第 6 章 总结与展望，本章回顾和总结了论文的研究工作，并对今后的研究方向进行了展望。

第2章 T-DMB 传输系统研究

本章首先介绍了T-DMB标准的起源和发展，然后对T-DMB传输系统的协议框架和关键技术进行了探讨说明。

2.1 T-DMB 标准的发展历程

数字音频广播DAB（Digital Audio Broadcasting）是继AM、FM传统模拟广播之后的第三代广播，除了具备有数字信号传输抗噪声、抗干扰、抗电波传播衰落等的一切优点外，还可提供CD立体声音质量及数字讯息之服务，且在一定范围内不受多重路径干扰影响，以保证固定、携带及移动接收之高质量。目前世界上DAB系统之发展大致可分为，欧规Eureka-147、美国IBOC（In-Band On-Channel）及法国DRM（Digital Radio Mondiale），还有部分国家自行发展DAB系统，而我国目前试播采用Eureka-147系统。

2002年12月，韩国将Eureka-147的COFDM(Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing)传输技术作为T-DMB的底层技术并发展起来^[14-18]，增加了适应视频业务广播的、新的音视频编码方案并附加了外层信道保护机制，可以与现存的DAB服务平行发展，也可以与已有的DAB基础设施方便地集成。其移动性能和画质颇具市场竞争力，主要表现在更低的频道切换时间(1.5 s, DVB-H为5 s)；没有响应时间迟滞；帧率达30 f/s @CIF；仅需2 MHz 的带宽(DVB-H为8 MHz)，成本上从DAB 升级到T-DMB也较少，以256 Kbit/s 速率支持12 个频道。

T-DMB标准的技术特点如表2-1所示，其信道带宽1.536MHz，一般移动接收情况下，其主营业务信道（MSC）的可用净码率为1.152Mbps(卷积编码1/2)。如果采用384kbps 的视频码率，在每1路1.536MHz信道带宽内可以传输两路视频节目；如果采用更高的512kbps的视频码率，则可以传输1路视频节目和3路音频节目（64kbps，CD音质）以及1路数据业务。试验证明，在时速200km以上的车上可以稳定接收T-DMB/DAB信号。

2005年5月，欧洲电信标准协会（ETSI）接纳由韩国提交的TTAS.KO 07.0024 和 TTAS.KO 07.0026 文稿，并发布ETSI TS102 427、ETSI TS102 428规范^[19-21]。同时，TTA已将T-DMB标准提交到ITU，最终形成ITU国际标准。同年，韩国政

府开始不遗余力的向本国以及其他国家推动T-DMB产业进程，全球第一个商用T-DMB业务(BAND-III)是于2005年12月在韩国开播的，作为免费业务很快得到了大众的认可和普及。在德国和英国等欧洲地区也部署了改版的T-DMB。另外，业界还在努力对DAB/T-DMB的IP版本(包括DAB-IP、EDG和DXB)做意义重大的标准化工作。

表 2-1 T-DMB 标准技术特点

传输标准	ETS 300 401/ COFDM -4 DPSK
频带	Band III, L-Band (BW=1.536MHz)
灵敏度要求	-96dBm@Pe=10e-4(Viterbi decoder out)
数据率步长	8Kbps@stream mode input of DAB mux
外编码	RS decoder: (204,188)
视频编码	MPEG-4/H.264, 30fps, QCIF/QVGA/CIF/WDF
音频编码	MUSICAM up to 384Kbps, MPEG-4/BSAC or AAC
数据	Data service: BIFS(optional), Packet service:MOTS

2.2 T-DMB 标准的系统结构

2.2.1 T-DMB 标准的协议框架

T-DMB 系统包括 1 个 DMB 监视系统、2 个视频编码器、视频网关和多路复用器，可以提供灵活的服务，包括视 / 音频广播、单独的交通 / 新闻 / 天气频道。T-DMB 利用 ITU-T H.264 对视频进行编码，利用 MPEG-4 比特切片算术编码(BSAC)对音频进行编码，然后利用 MPEG-4 同步层和 MPEG-2 传输流对视频、音频以及数据进行处理，某些基本的模块，比如前向纠错编码和调制等，与 DVB-H 相似^[22-26]。

从图 2-1 中可以看出，T-DMB 系统中仍延用了 DAB 的物理层，只是在 DAB 的 MSC (主营业务信道) 中划分出一个独立的子信道用于视频业务，如虚线框所示，并采用了具有卷积交织功能的 Reed Solomon 机制，音频/视频流被编码压缩成 MPEG-2 传输流。而像原先 DAB 中所固有的声音业务，数据业务都保持不变，这也使得 DMB 的部署相对较为容易。新增的视频业务则主要通过前端的 DMB 视频编码器来实现，视频编码器编码产生的数据流，以 ETI (复合群传输接口) 信号形式通过 DAB 的复用器以流模式方式复用到子信道中去，与来自其它路的

音频或数据复用成高达 2.048Mb/s 的 ETI 传输数据流，然后将 ETI 数据流分配给 DAB 同步网中的各个发射台进行发射。

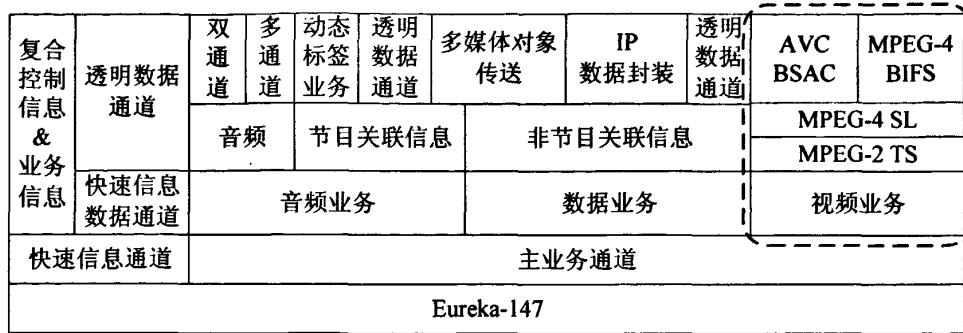


图 2-1 T-DMB 协议框架模型

2.2.2 T-DMB 标准的传输系统

T-DMB 系统的传输层以 DAB 标准为基础，主要由主营业务信道 MSC (Main Service Channel)、快速信息信道 FIC (Fast Information Channel) 和同步信道 SC (Synchronization Channel) 构成，每个信道从不同的数据源获得数据，并由这些数据组成传输帧，如图 2-2 所示。

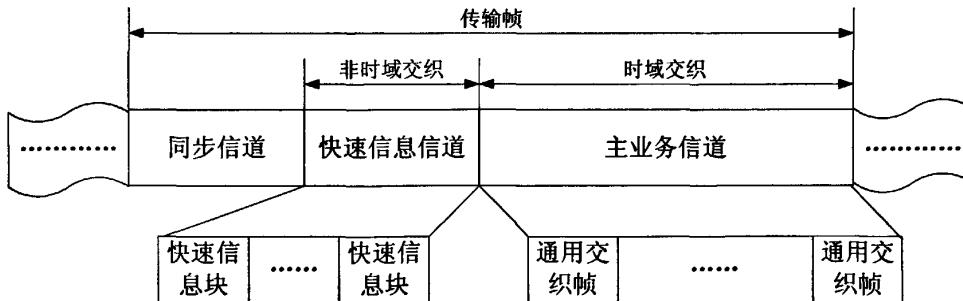


图 2-2 DAB/T-DMB 系统传输帧

- (1) SC 表示系统传输流的开始；
- (2) MSC 用来传送业务数据。MSC 由一个或几个通用时域交织帧 (CIF) 组成，每个 CIF 是一个 55296 比特的数据域，每 24ms 传输一帧。CIF 的最小可寻址单位叫做容量单元 (CU)，其大小为 64 比特。整数个 CU 连接在一起组成独立卷积编码、均匀或非均匀误码保护的子信道，每个子信道传送一个或几个业务分量；
- (3) FIC 由快速信息块 (FIB) 字段组成，是 DAB 的控制信道，其主要功能是传送对主营业务信道结构解码所必需的控制信息。为了快速可靠地解析 MSC 中

的各种业务与数据，在传输中FIC不经过时间交织，但是采用了较高的误码保护级别(约为1/3)。

T-DMB的组网结构是通过复用DAB传输系统来实现的，如图2-3所示。系统定义了两种业务信息传输的方法，即流模式和包模式。流模式指在子信道内以固定比特率实现业务的端到端透明传输，传送的对象为MPEG-I/II layer II的音频、MPEG-4的视频、音频和专有数据 (OD,BIFS,IOD)；包模式是为单个子信道内传送几个业务分量而定义的，每个子通道内可以传输一个或几个业务分量，传送的对象为非业务相关数据 (NPAD)。T-DMB的视频业务以流模式方式进入DAB系统的第一级复用器并打包形成ETI信号，再与其它路的音频或数据业务经二级复用形成功发射所需的ETI信号，送到各发射站点的激励器进行放大发射。或者不需使用第一级复用器，而直接把信号送到第二级复用器或称为总成复用器中，下图使用情况是在T-DMB视频编码器中已集成了一级复用模块在编码器中。

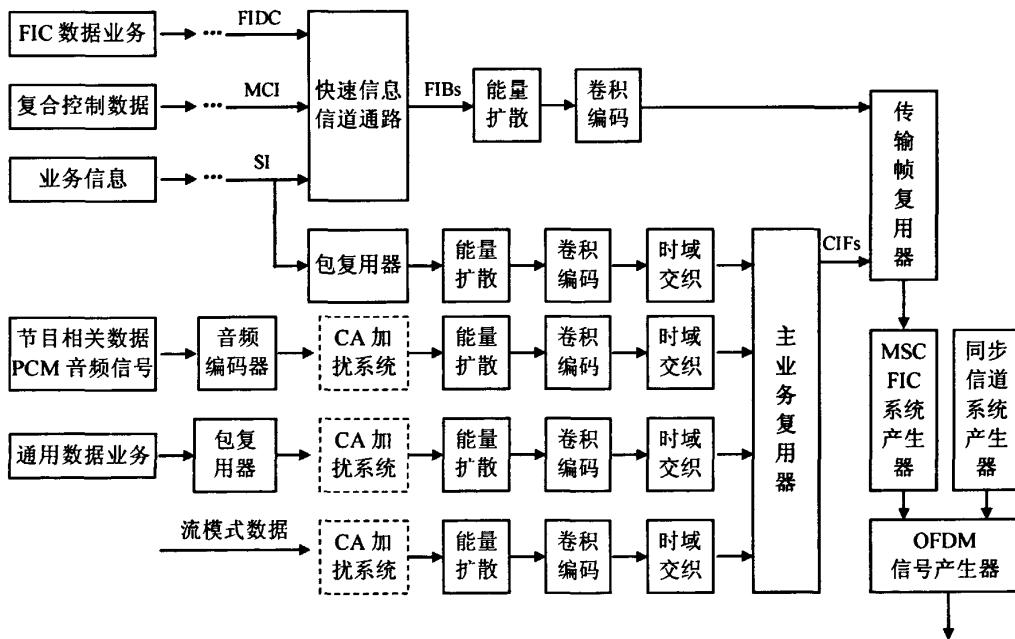


图 2-3 DAB/T-DMB 传输系统结构

DAB系统提供了三种数据业务传输信道：

- (1) 在快速信息数据信道(FIDC)中传输数据；
- (2) 通过主营业务信道的音频帧传输音频节目相关的数据(PAD)；
- (3) 在主营业务信道中传输数据业务。从主营业务信道的总容量中，可以留出任意部分以子信道(SC)方式传输数据业务。

视频业务的视频编码部分采用H.264，音频编码部分采用MPEG-4比特切片算术编码（BSAC），与视频内容有关的交互场景数据采用场景描述二进制格式（BIFS），多路复用采用MPEG-4 SL和MPEG-2 TS组合，并有针对性地增加了RS编码和卷积交织作为附加信道保护措施，以流模式传输；音频业务采用DAB标准引用的MUSICAM编码，以音频帧流模式传输；数据业务一般采用数据包模式传输。

DAB有4种传输模式，分别针对不同的组网应用，如表2-2所示。

表 2-2 DAB 标准传输模式

Transmission mode	Frame duration	Null Symbol duration	Number of FIBs	Number of CIF	Frequency range
I	96ms	1.297ms	12	4	BAND-III
II	24ms	324us	3	1	L-BAND(T)
III	24ms	168us	4	1	BAND-I(S,C)
IV	48ms	648us	6	2	L-BAND

2.2.3 T-DMB 标准的视频业务复用结构

T-DMB 标准的视频流传输包含了视频、音频和交互数据编码，T-DMB 标准采用了在限定带宽内仍能提供高效压缩性能的压缩标准 MPEG-4 AVC(Advanced Video Coding) 视频压缩标准。而在视频伴音压缩标准的选择上，可以支持 HE AAC (Advanced Audio Coding) 或者专利使用费相对更低的 MPEG-4 BSAC(Bit Sliced Arithmetic Coding)。对于视频播放中伴随的一些数据业务或需要提供一些交互应用的场合，则使用了 MPEG-4 BIFS (Binary Format for Scene) 编码。

为了便于商用接收机的开发，T-DMB 使用 MPEG-4 压缩标准中所需解码处理能力相对较容易的架构。图 2-4 示出了 T-DMB 对视频业务的处理流程，从该框图可以看出：在 T-DMB 视频编码器中，使用了 MPEG-4 system 部分的标准对分别采用 H.264 编码的视频，BSAC 编码的伴音以及 BIFS 编码的交互数据内容进行同步。首先使用 MPEG-4 SL (同步层) 数据包格式对视频、伴音以及交互数据进行封装，进而把同步包复用到 MPEG-2 TS 传输流中，然后再进行前向纠错 (FEC)，最后以流模式方式复用到 DAB 系统中，即用 RS (204, 188) 对 MPEG-2 TS 打包流进行编码然后再进行卷积交织。每 188 字节的 TS 包经过 RS 编码变成 204 字节的包，其中有 16 字节是纠错编码。经过编码之后，每隔 11 个 RS 编码的数据包作一次卷积循环，这样就可以把在时间域中突发的错误分散在各个部分，减少了连续错误出现的概率。通过使用前向纠错技术，可以有效

地保证视频流的低误码率(BER)。

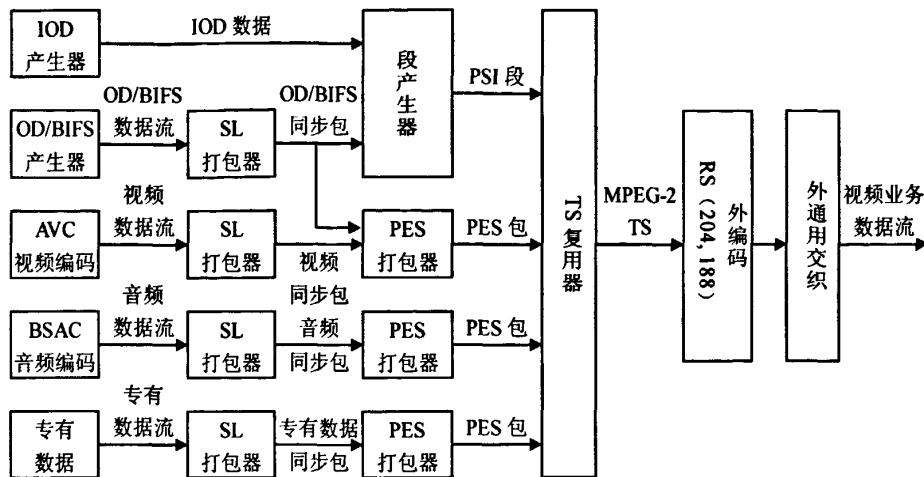


图 2-4 T-DMB 视频传输流

对T-DMB视频传输的各部分结构分别说明如下：

(1) 视频编码

- 采用ITU H.264 (IEC/ISO 14496-10) 基本档 (Baseline Profile)
- 视频格式
 - QCIF (176x144)
 - QVGA (320x240)
 - WDF (384x224)
 - CIF (352x288)
- 最大帧率30Hz

(2) 音频编码

- 采用IEC/ISO14496-3 (BSAC) , AAC
- 采样率24k、44.1k、48k
- 支持双信道立体声
- 最大比特率128kbps (立体声)

(3) 流同步层

- 采用IEC/ISO 14496-1, MPEG-4 SL
- 同步层采用对象时钟基准 (OCR) , 组合时戳 (CTS) 和解码时戳 (DTS) 机制
 - 音频对象相对于视频对象时延: -20~+40ms
 - 辅助数据对象相对于视频对象时延: -300~+300ms

(4) 节目复用层

- 采用IEC/ISO 13818-1, MPEG-2定义的PES和TS包结构
 - 采用MPEG-2的节目时钟基准（PCR）同步机制
 - TS流中使用节目关联表（PAT）和节目映射表（PMT）表结构：
 - PAT：重复间隔时间500ms；
 - PMT：含MPEG-4定义的初始对象描述子（IOD）和同步层（SL）描述子；
重复间隔时间500ms。
- (5) 信道外编码方式采用RS(204,188)，符合DVB-T(ETSI EN 300 744)规范。
- (6) 信道外交织方式按字节交织，交织宽度（支路数）12字节，交织深度（延迟缓存器）17字节，符合DVB-T(ETSI EN 300 744)规范。
- (7) 经过外编码和外交织的视频业务信号，TS速率8kbps的整数倍，接入DAB系统，以DAB定义的流模式传送。
- (8) 调制方式：差分编码的正交相移键控(D-QPSK)。

2.3 T-DMB 传输系统的关键技术

T-DMB标准在复用DAB系统上采用了现代先进的数字化技术，具有良好的发送和接收性能，其中比较关键的技术包括MUSICAM信源编码、COFDM的信道编码和调制、MPEG-2 TS流传输和条件接收系统^[27-31]。

(1) MUSICAM的信源编码

T-DMB的音频数据包括DAB系统的MPEG-I/II音频业务和新增的MPEG-4音频业务，其中MPEG-4 part3的音频数据采用AAC-BSAC编码模式来取代MPEG-4中AAC-Huffman编码，同其他视频和交互数据复合并通过RS(204,188)编码和卷积以流模式传输；而MPEG-I/II layer2层的音频数据仍沿用DAB的编码模式MUSICAM (Masking pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing) 以音频帧形式传输。

MUSICAM即掩蔽型自适应通用子带综合编码与复用，是按照人耳听觉特性把信号中对声音的音色和发音位置无作用的部分去掉，是传输的数据量显著降低，使原来CD中立体声信号所需要的速率为1411Kb/s降为192Kb/s，并在主观质量、数据率、处理过程所需要的时间延迟及复杂性等方面，做到了良好的兼容。当采样频率为48kHz时采用MPEG-1(ISO/IEC 11172-3)标准，当采样频率为24kHz时采用MPEG-2(ISO/IEC 13818-3)标准。

(2) COFDM的信道编码和调制

COFDM 即编码正交频分复用，除具有强大的编码纠错功能外，最大特点就是多载波调制，它在频域内将给定信道分成许多正交子信道，在每个子信道上使用单个子载波，把数据流也分解为若干个子数据流，分解数据流速率，再利用这些子数据流分别去调制各子载波。各子载波并行传输，减小了对单个载波的依赖性，其抗多径衰落能力、抗码间干扰（ISI）能力、抗多普勒频移能力等都得到了显著提高。

关于 COFDM 的定义如下：

- 所谓编码是指信道编码采用编码率可变的卷积编码方式，以适应不同重要的数据的保护要求；
- 所谓正交频分是指使用大量的载波以代替通常用的传送一套节目和单个载波。这些载波有相等的频率间隔，所有的载波频率都是一个基本振荡频率的整数倍，在频谱关系上是彼此正交的。要传送的数据流按照一定的规则被分割后，分配在这些载波上，每一个载波均采用四相差分相移键控调制(4DQPSK)；
- 所谓复用是指许多套节目相互交织地分布在上述地大量载波上，形成一个频率块（1.536MHz 带宽），例如上海地区在 LD(1458.096MHz) 和 LK(1470.080MHz)频率块上分别复合传送 3 套以上的立体声数字电视节目。

(3) TS流传输

前面提到过，T-DMB在对视频业务处理时使用MPEG-4 SL打包模块把经过压缩的各种视频、音频、对象描述、场景描述等数据流进行封装，打包成相应的同步包，主要是加入一些时间标签及参考时基用于接收端播放时各码流的同步。接下来经过音视频等数据由PES（Packetized Elementary Stream）打包器打包成PES流包（由包头和payload组成），同时对象描述和场景描述等信息由段（Section）生成器生成段信息，两种数据包通过TS混频器打包成TS包，最后完成对TS传输包的RS编码及卷积交织，增强其抗误码性能。

包含音、视频数据的 TS 流是由一个或多个 PES 组合而来的，如图 2-5 所示，他们可以具有相同的时间基准，也可以不同。其基本的复用思想是，对具有相同时间基准的多个 PES 现进行节目复用，然后再对相互有独立时间基准的各个 PS（Program Stream）包进行传输复用，最终产生 TS 包。

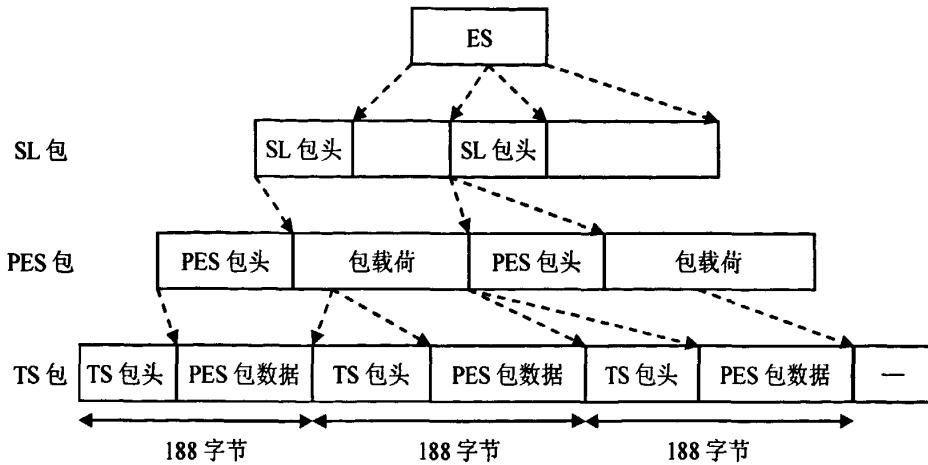


图 2-5 ES 打包流程

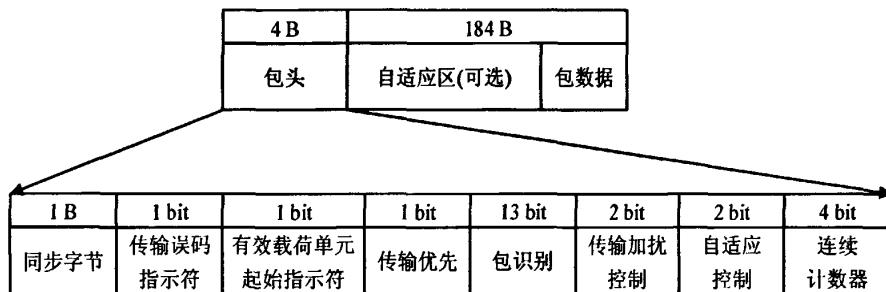


图 2-6 TS 包基本结构

TS 包长度为 188 字节，由包头和包数据 2 部分组成，其中包头还可以包括扩展的自适应区。包头长度占 4bytes，自使用区和包数据共占 184bytes，如图 2-6 所示。自适应区和包数据是包的实际内容，根据具体情况，可以放置节目数据或节目特殊信息，节目数据格式为 PES 包，节目特殊信息格式为 Section(段)。

TS 包的包头由同步字节、传输误码指示符、有效载荷单元起始指示符、传输优先、包识别（PID-Packet Identification）、传输加扰控制、自适应控制和连续计数器 8 个部分组成，包头对 TS 包具有同步、识别、检错及加密功能：

◆ 同步字节：值为‘0100 0111’（0x47）的固定 8bit 字段，同步字节位串的自动相关特性，检测数据流中的包限制，建立包同步。

- ◆ 传输误码指示符：1bit 标志位。是指有不能消除误码时，采用误码校正解码器可表示 1bit 的误码，但无法校正。当置为‘1’时表明在相关的传送分组中至少有一个不可纠正的错误位。此标志应由传送层之外的实体置‘1’。当被置‘1’后，在错误被纠正之前不能重置位‘0’。
- ◆ 有效载荷单元起始指示符：1bit 标志位，表示该数据包是否存在确定的起始信息，用来指示传送流分组带有 PES 分组或 PSI 数据时的情况。值为‘1’表示这个传输包是一帧数据的第一个传输包，值为‘0’则不是。
- ◆ 传输优先：1bit 优先级指示器，是给 TS 包分配优先权，当被置‘1’时表明相关的分组比其它具有相同 PID 但此位没有被置‘1’的分组有更高优先级。传送机制可根据此位确定在一个原始流中数据的优先级。
- ◆ 包识别（PID）：13bit 包识别符，PID 值是由用户确定的，解码器根据 PID 将 TS 上从不同 ES 来的 TS 包区别出来，以重建原来的 ES。不同类型的传输包，比如音频包和视频包，有不同的 PID，接收端根据 PID 来判断存贮在传输包中的有效载荷的类型。
- ◆ 传输加扰控制：2bit 字段，可指示数据包内容是否加扰，但包头和自适应区永远不加扰。
- ◆ 自适应区控制：2bit 字段，用来指示本传输流分组包头时候含有自适应字段，即（01）表示有有用信息无自适应区，（10）表示无有用信息有自适应区，（11）表示有有用信息有自适应区，（00）无定义。
- ◆ 连续计数器：4bit 计数值，可对 PID 包传送顺序计数，据计数器读数，接收端可判断是否有包丢失及包传送顺序错误。随着每个具有相同 PID 的传输流分组而增加，当它达到最大值之后又恢复到 0。在传输流中，分组和它的复制可能被做作为两个连续的具有相同 PID 的传送流分组送出。这两个分组有相同的连续计数值。
- ◆ 自适应字段：自适应字段是一个可变长的域，它在 TS 包中是存在由链接头中的适应域控制来标识。当自适应区控制的取值为‘10’或者‘11’时包含此字段。当利用链接层的信息将各基本比特流提取出来后，自适应字段便提供基本比特流解码所需的同步及时序等功能。
- ◆ 有效载荷：传输流的有效载荷（Payload）包括两种可能的形式：section 和 PES，PES 用于承载视频，音频数据等基本资料流；Section 用于承载节目相关信息。

TS 包自适应区由自适应区长、各种标志指示符、与插入标志有关的信息和填充数据 4 部分组成，如图 2-7 所示。其中标志部分由间断指示符、随机存取指示符、ES 优化指示符、PCR 标志、接点标志、传输专用数据标志、原始 PCR 标志、自适应区扩展标志 8 个部分组成。重要的是标志部分的 PCR 字段，可给编解码器的时钟提供同步资料，进行同步。其过程是，通过 PLL，用解码时本地用 PCR 相位与输入的瞬时 PCR 相位锁相比较，确定解码过程是否同步，若不同步，则用这个瞬时 PCR 调整时钟频率。因为，数字图像采用了复杂而不同的压缩编码算法，造成每幅图像的数据各不相同，使直接从压缩编码图像数据的开始部分获取时钟信息成为不可能。为此，选择了某些（而非全部）TS 包的自适应区来传送定时信息。于是，被选中的 TS 包的自适应区，可用于测定包信息的控制 bit 和重要的控制信息。自适应区无须伴随每个包都发送，发送多少主要由选中的 TS 包的传输专用时标参数决定。标志中的随机存取指示符和接点标志，在节目变动时，为随机进入 I 帧压缩的数据流提供随机进入点，也为插入当地节目提供方便。自适应区中的填充数据是由于 PES 包长不可能正好转为 TS 包的整数倍，最后的 TS 包保留一小部分有用容量，通过填充字节加以填补，这样可以防止缓存器下溢，保持总码率恒定不变。

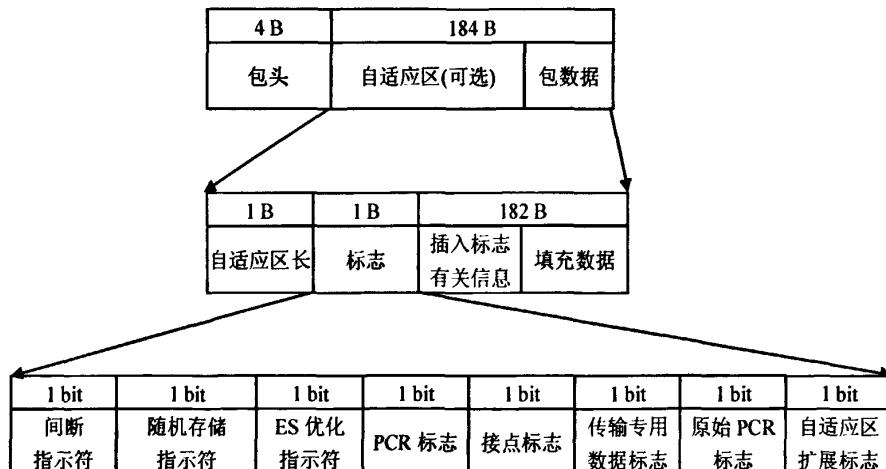


图 2-7 TS 包自适应区结构

(4) 条件接收系统

CAS (Conditional Accessed System) 即条件接收系统，旨在保障付费用户合理享有付费电视服务的权益，图2-8所示为CAS在整个广播系统中的工作原理。在A/V流编码输出之后和TS流被调制发射之前有一个加扰的过程（Scrambler），正是在这个过程中插入了付费节目有条件接收的核心：控制字CW（Control Word）。CW的典型字长为60bit,每隔2-10s改变一次，但CW本身是不安全的，CW及系统其它数据要用一个加密密钥通过加密算法对它进行加密保护，这个加密密钥只是一个用来变化加密算法结果的任意数，通常由运营商产生并控制其提供的服务，称为SK（业务密钥）。

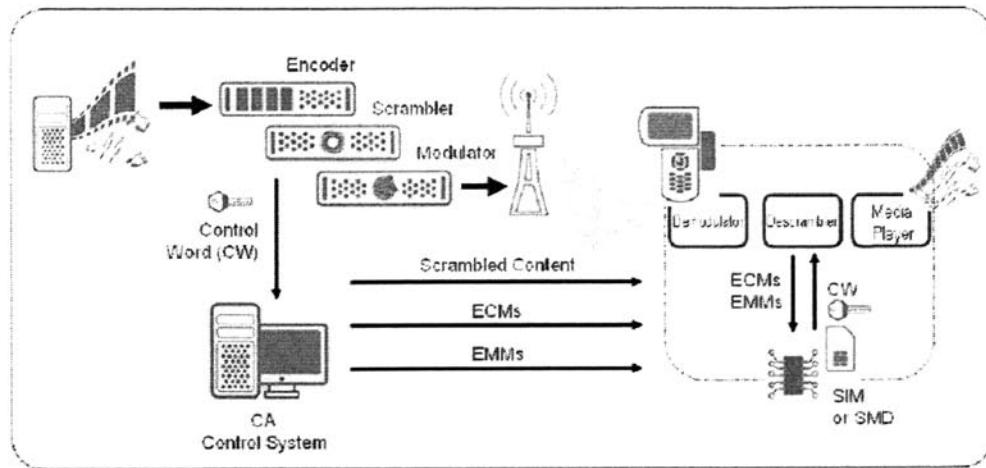


图 2-8 CAS系统工作原理

需要说明两个容易混淆的概念是：加/解扰（Scrambling–Descrambling），和加/解密（Encryption–Decryption）。这两种技术是CA系统重要的组成部分，有着密切的联系，在技术上也有相似之处，但两者在CA系统标准中也是独立性很强的两个部分。

(1) 加解扰技术是在发送端将原始信息由伪随机序列进行实时扰乱控制，伪随机序列的产生则由控制字发生器来进行控制。接收端也有一个和发端结构相同的伪随机序列产生器，只要收发两端间的序列同步（即用同一个初始值启动），接收端的伪随机序列（解扰序列）就可用来将加扰信息恢复为原始信息，为了达到同步要求，必须由发端向收端发送一个去同步伪随机序列的起始控制字CW（是一个随机数）。但倘若CW是随加扰信息一起通过公网直接传送给用户，那么在传送过程中任何用户都有可能会去研读它，一旦CW被破解则整个加扰系统就失去了意义，因此必须对CW进行加密保护。

(2) 加密技术被用来在发送端提供一个加密信息，使被授权的用户端解扰器能以此来对数据解密，该信息受CA系统控制，并以加密形式配置在TS信息中以防止非授权用户直接利用该信息进行解扰，不同的CA系统管理和传送该信息的方法有很大不同。在目前各种标准组织提出的有条件接收标准中加扰部分往往力求统一，而在加密部分则一般不作具体规定，是由各厂商定义的部分。

在采用MPEG-2标准的数字电视系统中，与节目流条件接收系统相关的有两个数据流：授权管理信息EMM（Entitlement Management Message）和授权控制信息ECM（Entitlement Control Message）。EMM是被发送到CAS智能卡上符合特定接入认证的数据，加密的SK在EMM中传送，而SK在传送前需再次经过用户个人分配密钥PDK（Personal Distribution Key）的加密处理，EMM中还包含地址、用户授权信息；ECM是包含特定接入标准和CW的加密信息，由SK加密处理后的CW在ECM中传送，ECM中还包含节目来源、时间、内容分类和节目价格等信息。大致来说，ECM用来区分来源，EMM用于区分目的。

整个加/解密过程实际包含了三重机制：一旦ECM被解密并通过了特定接入认证后，便会提出授权许可，授权许可在EMM中再次得到通过后加密的CW便会被释放，最后通过CW还原出被加密的TS流。而在信号的接收端，经过解调后的加扰比特流，在最开始的瞬间控制字还没有恢复出来，该加扰比特流会在未解扰的情况下通过解扰器而送至解复用器。由于ECM 和EMM 信号被放置于MPEG-2传送比特流包头的固定位置，因此，解复用器便很容易地解出ECM 和EMM信号。从解复用器出来的 ECM 和 EMM 信号，被分别送至CAS智能卡中的解密器，解密器与智能卡中的安全处理器共同工作，从而恢复出控制字(CW)，并将它送至解扰器。恢复控制字的过程十分短暂，一旦在接收端恢复出正确控制字以后，解扰器便能正常解扰，将加扰比特流恢复成正常比特流。有关具体的解密流程将在第3章和第4章中介绍。

2.4 T-DMB 接收系统功能模块分析

T-DMB 的接收系统主要由 RF 调谐器、基带解调模块和基带解码模块三部分组成^[29]，各模块分别实现 RF 前端接收、IF 信道解调和 TS 流节目解码，经过接收系统所得到的音视频和数据信息便是最终的节目信息。系统功能框图如图 2-9 所示。

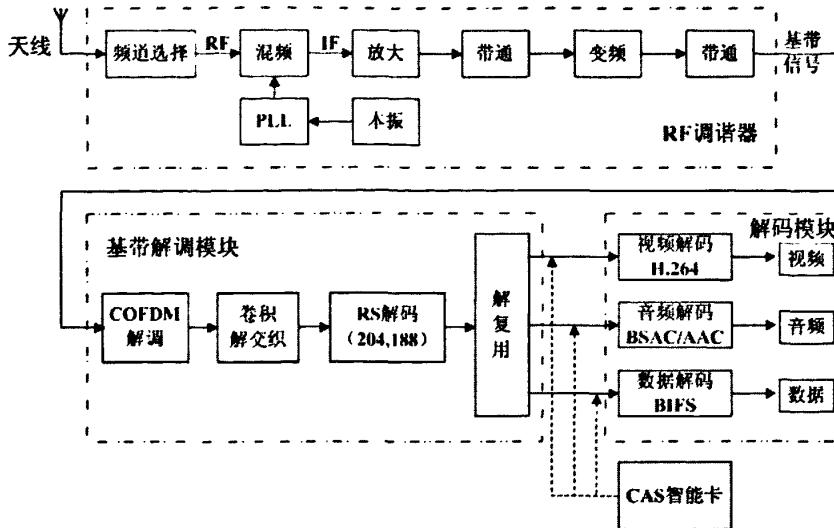


图 2-9 T-DMB 接收系统功能框图

(1) RF 调谐器模块

RF调谐器选择所需视频、音频节目或数据业务的频率块，进行频率变换。它先将射频信号变为中心频率为38.912 MHz、带宽为1.536 MHz 的中频信号，然后再变频为中心频率为2.048 MHz 的COFDM基带信号。其中的PLL为混频器提供本振信号；混频器将本振信号和射频信号差频变为中频信号；放大与带通则对中频信号进行放大、滤波，去除无用频谱成分；变频器与带通将中频信号进行变频变为基带信号，并滤除无用频谱成分。

(2) 基带解调模块

基带解调模块按照T-DMB编码方式对信道进行解调，各解调模块功能如下：

- COFDM解调：从COFDM基带信号中产生出同相分量I和正交分量Q，分别将两分量转换成数字形式的信号，再实施FFT抵消发端的IFFT变换，完成各个载波的4DPSK解调，重新恢复出分配在各个载波上的差分编码复数比特数据流；
- 卷积解交织：将传输次序被打乱的输入流，由去扰器将次序恢复；
- RS 解码：外编码RS纠错码解码，恢复原数据流；
- 解复用：从每个传输帧的比特数据流中，分离出的，一是同步信息，为接收机提供解调的相位基准信号使收发同步；二是控制信息和解码信息；三是主营业务信息，分解出各套视频、音频信号和数据业务。

(3) 基带解码模块

基带解码模块从包含MPEG-4数据的TS流中解码出频道音视频和相关数据信息，对于经过CA系统加密后的频道节目，由CAS厂商提供的智能卡在终端上配合完成加密节目信息的提取和恢复。

第3章 硬件平台设计与实现

本章着重介绍了系统硬件平台设计原理，针对前端 RF 模块的接收和解调输出及 CPU 对整个系统的功能控制做了详细说明，并介绍了 CA 智能卡的应用。

3.1 系统功能概述

本系统是基于 Renesas 公司的 SH-Mobile UL (SH7363) 处理器所设计的支持 T-DMB 标准的多媒体播放器，整个系统包括 CPU、RF 模块、存储模块、音频 CODEC、CA 智能卡、实时时钟 (RTC)、TFT LCD、miniSD、USB2.0、键盘、数据 IO 口和电源管理。播放器采用高集成度结构设计，总体积为 120×68×14mm，播放器外形如图 3-1 所示。

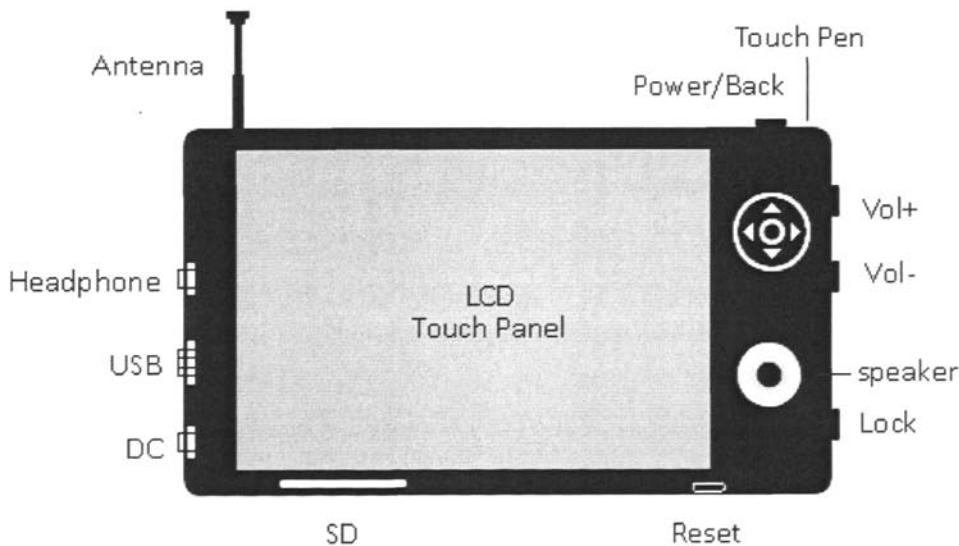


图 3-1 播放器外形示意图

系统的主要功能特性如下：

- 支持 L-BAND、BAND-III 频段的 TS 码流节目接收
- 支持 ETSI EN 300 401 DAB 音频接收和上海 Irdeto 加密系统节目接收
- 支持 MP3、ACC、MP4、PMP 格式文件播放
- 支持 USB2.0 数据传输和 miniSD 卡数据存取
- 支持实时时钟及定时关机模式

- 包含单颗 1500mAH 聚合物锂电池，支持 USB 或适配器充电及电池保护
- 包含 3.2 寸 QVGA (320×240 象素，65K 色素) 电阻式触摸屏
- 包含立体声耳机接口和 $8\Omega/500\text{mW}$ 喇叭，支持耳机和喇叭的输出切换

3.2 系统前端电路设计

T-DMB 前端接收部分按功能划分应包括：天线、RF 分频器和滤波器、RF 调谐器和解调芯片，此外 CA 智能卡也是与 T-DMB 节目接收密不可分的元件。但对系统接收性能和功耗大小起决定作用的，还是 RF 调谐器和解调芯片，因而前端芯片选型非常重要，其直接影响系统的性能与成本。

3.2.1 T-DMB 前端主流芯片介绍

随着韩国政府和运营商的推广，T-DMB 标准在全球已达到相当规模的商业化程度，基于 T-DMB 制式的移动数字电视业务也已成功被手机、PMP、GPS 等终端产品集成进去，并因此带动了半导体行业对 T-DMB 前端芯片的开发。目前支持 T-DMB 标准的芯片已有不少，并且在射频接收芯片、基带解调芯片、射频接收与基带解调复合芯片等都有很多成熟的产品和方案^[32]。

主流射频接收芯片大致列举如下，相关特性比较见表3-1：

(1) FCI公司推出的FC2501被公认为业界体积最小、功耗最低、同时支持三频双模BAND-II, BAND-III, L-BAND的射频接收芯片，并且由于FC2501良好的低噪声特性，在接收L-BAND信号时并不需要片外低噪声放大器（LNA）。

(2) Integrant公司在被ADI收购之前就已开发出了支持三频双模BAND-II、BAND-III, L-BAND的射频接收芯片ITD3020，包含2个LNA、2个RF可编程增益放大器（PGA）以及不需要外部声表面滤波器（SAW）的低中频单端转换架构。

(3) Future Waves公司的FNX14701是一款单芯片的射频方案，片上集成VCO/LO以及频道滤波器，避免了跟踪滤波器和外部的中频SAW滤波器，因而集成度高、面积小、功耗低。FNX14701能够支持DAB/T-DMB 的L-BAND 和BAND-III以及BAND-II FM。

(4) Infineon公司推出单芯片上整合了射频与中频功能的低功耗调谐器TUA6041/5芯片，支持多标准并通过简单的配置来实现机顶盒等多标准接收应用，但其仅支持BAND-III频段。

(5)Frontier Silicon公司的Apollo FS1110，支持三频双模BAND-II、BAND-

III、L-BAND，采取近零中频(NZIF)技术，同时具备了超外差技术的鲁棒性和零中频(ZIF)的集成性能，仅需较少的外接元件就能和该公司的Kino数字基频芯片合用，实现全套优化射频与基频T-DMB解决方案。

(6) Maxim公司的MAX2170，支持三频双模BAND-II, BAND-III, L-BAND，采取单电源供电模式，具有较高的器件集成度，允许低功耗、板载调谐设计。直接变频至低IF架构取消了提供中心频率为2.048MHz的基带信号输出至解调器所需的IF-SAW滤波器。

(7) I&C公司的StarRFT400也是业内为数不多的体积小、功耗低的射频接收芯片，支持BAND-III和L-BAND的频段接收。其低中频架构取消了SAW滤波器和图像校正滤波器，并在无片内LNA的情况下达到了优良的接收灵敏度性能。

表3-1 主流RF接收芯片性能比较

Corp.	FCI	Integrand	Future Wave	Infineon	Frontier Silicon	Maxim	I&C
Spec	FC2501	ITD3020	FNX14701	TUA6045	FS1110	MAX2170	Star RFT400
RF support	Tri-Band	Tri-Band	Tri-Band	BAND-III	Tri-Band	Tri-Band	Dual-Band
Size (mm)	5×5	6×6	7×7	7×7	5×5	6×6	5×5
Temp (°C)	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85	-40~85
Vol	I/O	3.3V	1.8~3.3V	3.0V (only)	3.3V (only)	2.7~3.3V (only)	3.0V
	Core	1.8V	1.8V				2.5V
L-BAND PWR	<100mW	<160mW	<260mW	<230mW	<150mW	<160mW	<100mW
Interface	IIC	IIC	IIC	IIC	IIC	IIC	IIC
IF type	2.048M	0.85M	2.048M	38.912M	2.048M	2.048M	2.048M
	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.	Diff.
AGC mode	PWM HoldAGC	Hold AGC	Hold AGC	PWM	PWM	Dual (RF/IF)	Auto AGC Hold AGC
Sensitivity	-100dBm	-100dBm	-100dBm	-100dBm	-100dBm	-100dBm	-100dBm

主流基带解调芯片大致列举如下，相关特性比较见表3-2：

(1) PN3030是由韩国PnpNetwork技术公司生产的一款支持T-DMB的基带处理芯片，主要由10 bit的模数转换器，OFDM解调器和译码器(包括前向纠错译码器，音频和数据译码器等)组成。它的封装尺寸较小，为8mm×8mm×1.5mm，功

耗约为70 mW，并能提供多种标准接口，如I2C、I2S、SPDIF、SPI和HPI。

(2) Nexilion公司的NX3300内置4/8MB的SDRAM，并提供多种标准接口，如USB1.1、NAND/NOR Flash、SRAM、SPI、I2C、DMA、I2S、SPDIF和LCD接口等，其低功耗及高灵活性的特点非常适合手持设备的方案开发。

(3) Centronix公司的CTX2050解调解码芯片，支持DAB/T-DMB多模式，且带有自动模式检测，能以1.8 Mbit/s全速率解码，输出串并行MPEG-2 TS，电源管理使得芯片能适应不同应用的低功耗。随着工艺技术的发展，芯片的小型化向着单芯片发展。

(4) Telechips公司的TCC310和TCC3100均在频道锁定速度和功耗控制上有良好表现，并均内置片内大容量RAM模块无需外部Flash或SDRAM，支持多种标准接口。两者的区别在于TCC3100功耗更低，解码速度更快。

(5) Frontier Silicon公司推出的Kino系列。Kino1是第一款商用T- DMB基带处理芯片，随着德国、印度和挪威推出移动电视服务，Kino1的应用将继续扩大。Kino2是多模芯片，支持所有类型的T-DMB以及DAB和DAB-IP，相比Kino1其功耗减少一半，也使系统面积减少40%。三星公司的B2300手机即采用Apollo Tuner + Kino解决方案，整体功耗为500 mW，为韩国最畅销的手机电视。

值得一提的是，韩国GCT公司的GDM7004是业界第一块T-DMB接收全集成CMOS芯片，支持BAND-III/L-BAND，该芯片射频部分同样采用易于集成的零中频ZIF技术，解调部分可提供综合去交错的能力，功耗低于100 mW。

表3-2 主流基带解调芯片性能比较

Corp.		PnpNetwork	Nexilion	Centronix	Telechips	
Spec		PN3030	NX3300	CTX2050	TCC310	TCC3100
Package		FBGA80	FBGA161	FBGA92	FBGA81	FBGA64/FBGA81
Size (mm)		8×8	8×8	6×6	6×6	6×6
Process (um)		0.18	0.18	0.18	0.18	0.13
Vol	I/O	1.8~3.3V	1.8~3.3V	1.8~3.3V	1.8~3.3V	1.8~3.3V
	Core	1.5V	1.2V	1.8V	1.8V	1.2V
Power (mW)		70	75	65	70	40
Decoding rate		Full rate	Full rate	Full rate	Half rate	Full rate
MPEG-2 decoder		HW decoder included	HW decoder included	HW decoder included	Not included	Not included
Low IF support		Support	Support	Support	Support	Support
Tuner AGC		PWM	PWM	PWM	PWM	PWM

Corp. Spec	PnpNetwork	Nexilion	Centronix	Telechips	
	PN3030	NX3300	CTX2050	TCC310	TCC3100
control	Hold AGC	Hold AGC	Hold AGC	Hold AGC	Hold AGC
Tuner control I2C	400Kbps	NO	400Kbps	NO	Included
Data interface	HPI/SPI	SPI	SPI	SPI	SPI
Host interface	HPI/SPI/I2C	SPI/I2C	HPI/SPI/I2C	HPI/SPI/I2C	SPI/I2C
TS interface	Serial/Parallel	Serial/Parallel	Serial/Parallel	NO	Serial/Parallel

3.2.2 RF 模块设计

系统所选用的前端接收芯片是GAON公司的RF模块GDM350，模块内实际上为FC2501射频芯片与PN3030解调芯片的组合，并内置16.384MHz时钟晶体，其内部功能架构如图3-2所示。FC2501和PN3030均为T-DMB前端主流芯片，无论是性能、功耗和体积，两者均在业内方案中占主导地位。GDM350支持T-DMB的L-BAND（1452~1492MHz）和BAND-III（174~245MHz）全频段接收，需要3.3V、1.8V给FC2501供电，3.3V、1.5V给PN3030供电，模块在L-BAND和BAND-III接收时功耗均在200mW。

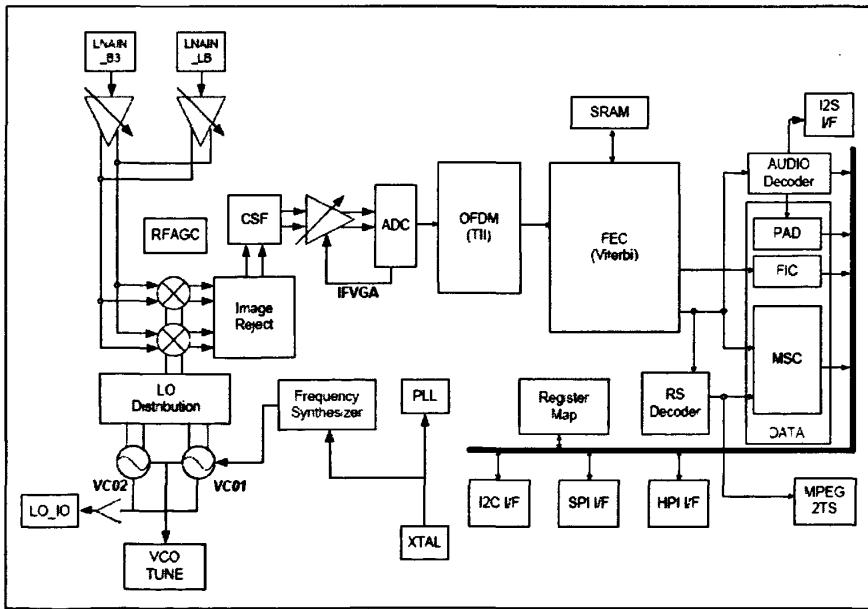


图3-2 GDM350内部功能架构

在GDM350模块内部，FC2501的寄存器设置由PN3030的I2C总线控制，其中FC2501所需的HOLD AGC电平由PN3030提供，FC2501将下变频后中心频率为

2.048MHz、带宽为1.5MHz的中频信号送给PN3030，由后者解调并通过SPI接口输出TS码流、I2S接口输出解码后的PCM数据流。

GDM350 模块外部不需要低噪声放大器（LNA），但在 RF 输入端需要有能将 L-BAND 和 BAND-III 两路射频信号分离的分频器以及分别针对 L-BAND 信号和 BAND-III 信号的滤波器，系统选用 SAMYOUNG 公司的多层双波段滤波器 DFTLA05322NF 来实现对两路射频信号的前端分离输入。从天线接收的 RF 信号经过滤波器之后被分成两路信号送到 GDM350 模块，如图 3-3 所示，RF 传输线路应该满足 50 欧姆阻抗匹配，阻抗匹配主要由 PCB 布线时根据微带传输线理论来设计，且在布线时控制射频线与两端的地平面距离达到线宽的 3 倍，射频线两端的地平面打上间距相同的矩阵通孔以加强 EMC 性能，另外，传输线路中预留 π 型阻抗匹配网络，网路的元件参数可以在天线测试时通过网络分析仪上观看 Smith 圆图来调整。

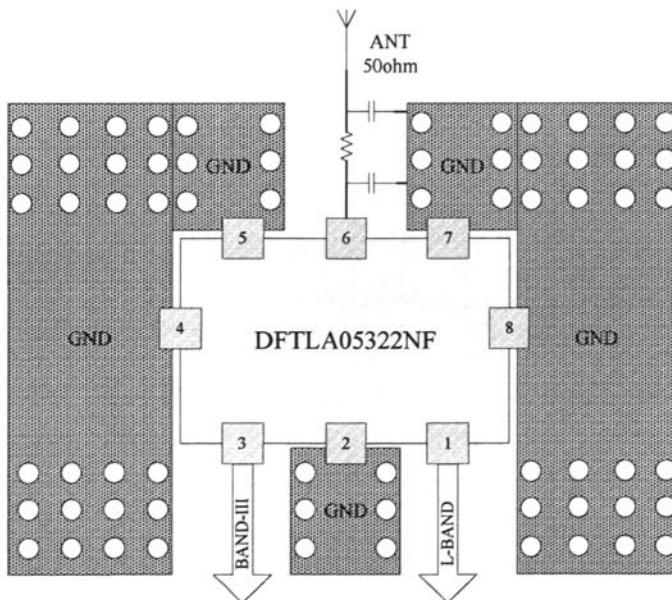


图3-3 RF前端布线图

SH7363 通过 SPI 接口对 GDM350 进行设置，再通过 SPI 接口接收数据流，因此 SPI 接口既是控制通道又是数据通道：

- (1) SH7363 先进入 SPI 主模式，对 RF 模块内部寄存器进行读写，完成对模块配置（包括芯片初始化、频道选择等）；
- (2) SH7363 接收模块 SPI 口传送出来的 TS 码流，进行 H.264 解码。

这样做好处是可以减少主控制器和 RF 模块的连线，同时也减少了软件上对驱动编写调试的工作量。因为对 GDM350 进行配置时不需要传输节目数据，对 SPI 总线使用没有冲突，因此控制通道和数据通道都使用 SPI 总线是合理的。

此外，GDM350 的 I2C 接口也可作为备用的控制通道。

GDM350 可以将 DAB 信号通过 I2S 接口输出解码后的 PCM 信号，因此系统选择 I2S 总线作为 DAB 音频 PCM 信号的数据通道并直接送给 CODEC (WM8976)。I2S 总线包括三条信号线，数据线用于传输 PCM 比特流，位时钟信号线用于提供数据线上数据的采样时钟，声道时钟用于判断数据线上那些比特属于左声道的数据，那些比特属于右声道的数据。GDM350 带有 2 个用户自定义的中断输出，系统选用其中 1 个中断引脚作为频道锁定中断输出，系统前端功能设计如图 3-4 所示。

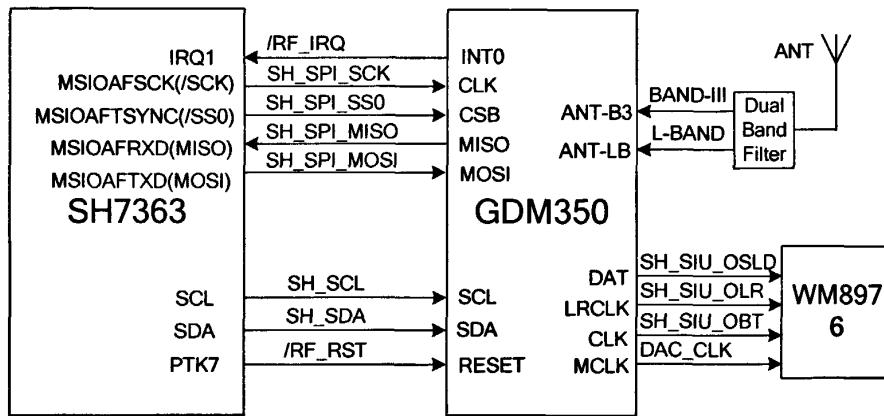


图3-4 系统前端设计

3.3 系统基带电路设计

3.3.1 电源管理电路

系统采用单颗 1500mAH 聚合物锂电池供电，电池电压在 3.3V~4.2V 之间，可使用 5V 交流适配器或者 USB 接口给电池充电。另外，电源管理系统自动选择电源供应路径，适配器输入、USB 输入或者电池输入均可作为供电电源直接使用，经过系统的电源模块后产生：3.3V，1.8V，1.5V，1.2V，给系统各部分电路供电。实际使用中，系统全部功能运行所消耗的电流约为 250~280mA，因此系统满负荷工作时至少可以运行 5 小时。

电源模块包括如下功能：主板电路供电，电池充放电保护，充电管理，电池电量检测，系统电源的开启和关闭，提供系统复位信号以及 LCD 背光电源供电及控制。

系统的电源管理主要由 PMU (Power Management Unit) 集成芯片 LP3913 提供，另外用独立的 LDO 芯片分别对 RF 模块和 TFT LCD 供电。在此需要说明的是，由于 RF 模块对供电电源纹波抑制要求比较高，且电流消耗比较大（约在 120mA 左右），因此对 RF 部分单独用 LDO 供电比较好，这样处理不仅能与系统数字电路供电隔离开来减轻支路电流的消耗，并且能避免由于电源纹波过大导致的信号接收受到干扰甚至 RF 模块不工作的情况发生。LCD 的背光是采用 5 颗 LED 白光灯并联形式，为了增加播放器运行的时间，在不需要 LCD 工作的情况下背光灯应当被关闭，所以背光的驱动芯片最好能由 CPU 来控制输出状态。而 BD2606MVV 芯片内置 I2C 接口，可以由 CPU 的 I2C 总线来操作 LCD 的背光电源输出状态及通过调节输出电流来控制 LCD 的亮度，满足应用的要求。在系统开启动时 I2C 总线并没有初始化，此时 BD2606MVV 默认无输出即 LCD 背光为暗，直到 CPU 控制 BD2606MVV 输出时 LCD 背光才会出现，在实际使用时也可根据周围环境光的情况来调节 LCD 的亮度。电源模块结构如图 3-5 所示。

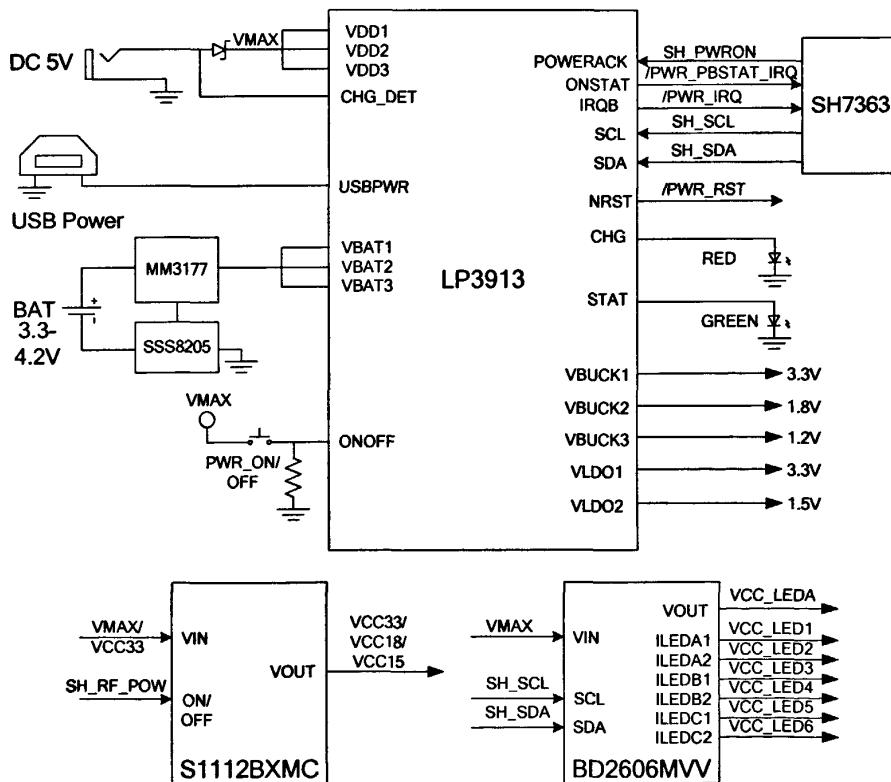


图 3-5 电源模块示意图

(1) LP3913 电源管理

LP3913 是专为消费电子手持设备设计的可编程电源管理芯片，包含 2 路可调 LDO 输出（图中 VLDO）、3 路 DC/DC 转换器（图中 VBUCK）、以及 4 路 8 位精度的 AD 转换单元，同时支持锂离子和锂聚合物电池充电功能。具有电源输入路径选择功能，能实现电池、USB 电源以及适配器电源之间的无缝切换。LP3913 扩展了电池管理功能，如电池温度检测、电压检测、电池状态指示、过流保护以及 10 小时安全定时器等。

LP3913 可以选择从 5V 交流适配器或者 USB 接口取电，为单节锂离子/锂聚合物电池充电，当使用交流适配器充电时，充电电流最大限制在 1A，当设置充电电流最高门限 (C) 为 800mA 时充电时间约为 2 小时；而选择从 PC 上 USB 口充电时，根据 USB2.0 OTG 协议规定充电电流最高为 500mA，因此充电时间约为 3 小时。LP3913 在锂电池充电过程中分别经历了 4 种充电模式：

I 当外部接入的电池电压初始值低于 2.85V 时，进入涓流充电模式，此时充电电流约为 0.1C；

II 当电池电压大于 2.85V 时，进入充电恒流充电模式，此时充电电流与最高门限值相等；

III 当电池电压上升到设定的充电电压门限值 (4.2V) 时，进行恒压充电模式，此时充电电流逐渐减小直至 0.05C；

IV 当充电电流小于 EOC (End-Of-Charge) 电流时，最后进行持续 21 分钟的 TOP-OFF 模式充电，最终整个充电过程结束并不再对电池进行充电。

为适应不同的电池，LP3913 可以通过软件设置充电电压最高门限值 (4.1V/4.2V/4.38V) 和充电完成电流值 (5%C/10%C)，同时可以通过在其状态指示引脚上连接红、绿 LED 来显示电池所处的充放电状态。此外，LP3913 还提供电池充电监控功能，当电池在充电过程中检测到温度过高或充电时间过长的情况，LP3913 均会自动结束电池的充电过程并发出警告信号。

LP3913 内部提供三路 DC/DC 以及两路 LDO 输出，默认输出为 BUCK1 输出 1.2V/600mA，BUCK2 输出 1.8V/600mA，BUCK3 输出 3.3V/500mA，LDO1 输出 2.0V/150mA，LDO2 输出 3.3V/150mA，如表 3-3 所示。本设计中 LDO 的输出电压需要调整，LDO1 通过 I2C 调整到 3.3V 供 SD 卡回路，可以通过软件控制其输出；LDO2 通过外部管脚控制，默认不输出，配置成 1.5V 之后输出给系统电路；BUCK1、BUCK2、BUCK3 分别输出 1.2V，1.8V，3.3V，在 SH7363 运行之后，可以适当调低 BUCK3 的电压输出以降低功耗。

表 3-3 LP3913 电压输出回路

Supply	Load (V)	V _{OUT} (V)			I _{max} (mA)
		Default(V)	Range(V)	Resolution (mV)	
LDO1	SD 3.3	2.0	1.2~3.3	100	150
LDO2	Sys 1.5	3.3	1.3~3.3	100	150
BUCK1	SH 1.2	1.2	0.8~2.0	50	600
BUCK2	SH 1.8	1.8	1.8~3.3	100	600
BUCK3	SH 3.3	3.3	1.8~3.3	50	500

LP3913 在外接适配器或者 USB 的时候自动启动，在电池供电的情况下，需要按 ON/OFF 按键才能启动 LP3913。LP3913 通过中断方式向 CPU 通知其目前的状态，CPU 通过 I2C 接口读取状态信息，包括电池电量，充电电流，电池低电压指示，ADC 数据等。

(2) RF 模块和 LCD 电源管理

RF 模块包含 RF 芯片和 T-DMB 基带解调芯片，所需电源为 3.3V、1.8V 和 1.5V，系统采取用 3 个 LDO 芯片 S1112BXMC 对 RF 模块单独供电。S1112BXMC 为高纹波抑制型 LDO，输出精度为 $\pm 1\%$ 且压降仅为 190mV，其中 X 表示输出电压值，即当使用 S1112B33MC 时输出电压为 3.3V，此时输入电压选择 VMAX 约为 5V；而当使用 S1112B18MC 和 S1112B15MC 时输入电压则选择 VCC33，减少电压转换过程中不必要的损耗。另外，S1112BXMC 附带 ON/OFF 控制引脚，由于 RF 模块耗电流一般在 150mA 左右，因此如果 RF 模块不工作时可通过 SH7363 的 GPIO 口控制电源关闭，以降低功耗。

LCD 背光驱动采用 BD2606MVV，该器件可以提供 6 路并联 LED 驱动能力，且输出电流大小可以通过 I2C 接口来调节，VOUT 端口最大可以输出 120mA 电流。而系统所用的 LCD 背光电路是由 5 路白光 LED 并联组成的，故 BD2606MVV 芯片可以满足要求，另外，BD2606MVV 的使能引脚通过下拉电阻由 SH7363 的 GPIO 口控制，使默认情况下 LCD 背光灯为关闭状态，达到降低系统功耗的目的。

(3) 锂电池保护

系统使用 MM3177 进行电池充放电保护控制，MM3177 内部的电压检测模

块对充电电压和电池电压进行监测，输出信号控制接入到电池充放电回路中的 N 型 MOSFET，关闭或打开电池充放电电流，起到保护作用。MOSFET 选择低导通电阻的双 N 型 MOSFET 集成芯片 SSS8205，其导通电阻只有 30 毫欧，可承受 4A 电流，满足电池保护的要求。电池充放电保护电路示意见图 3-6。

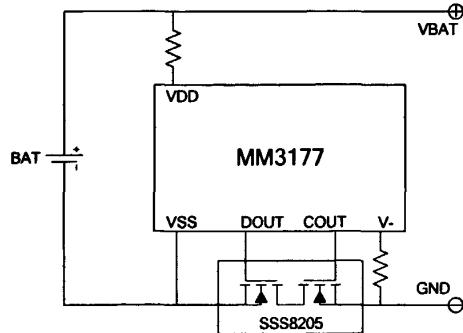


图 3-6 锂电池保护回路

充电保护电路工作过程如下：MM3177 检测 VDD 电压，当充电电压高于 4.3V 时 COUT 输出由高电平变为低电平，关闭 MOSFET 切断充电电流，防止过压充电。此后，当电压低于 4.1V 后 COUT 输出又由低电平恢复为高电平，MOSFET 打开，继续提供充电电流。

放电保护电路工作过程如下：MM3177 检测 VDD 电压，当电池电压低于 2.3V，DOUT 输出由高电平变为低电平，关闭 MOSFET 切断电池放电电流，防止电池过度放电，此后只有加上充电电压，提供充电电流，DOUT 才会重新打开 MOSFET。

3.3.2 CPU 接口电路

Renesas开发的SH-Mobile(SuperH Mobile Application Processor)系列处理器，是面向2.5G/3G手机的基带处理器，它能为系统开发和功能完善提供良好的解决方案。Renesas提供良好的中间件支持给SH-Mobile客户，使客户在开发软件的同时无需担心通信协议的可支持性。SH-Mobile所包含的DSP核可支持多种多媒体标准，如JPEG、MP3、MP4等，使用DSP核的指令集能使处理器的大多数中间件平均性能提高200%，从而减轻了对CPU的速度要求也降低了功耗。关于SH-Mobile系列处理器的发展如图3-7所示。

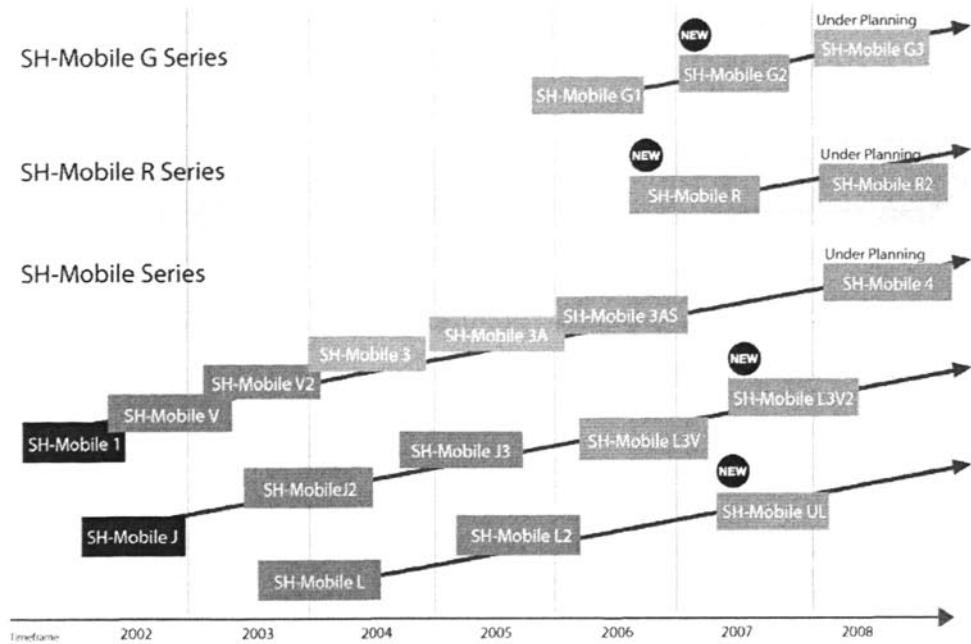


图 3-7 SH-Mobile 处理器发展历程

SH-Mobile UL (SH7363) 是基于Renesas自主架构SH4AL-DSP的双核多媒体处理器^[33]，具有符合下一代移动电话应用的多种功能，芯片封装为224pin-BGA，球径为0.3mm、引脚间距为0.5mm，体积为8×8×1.4mm。SH7363内部时钟速率高达266MHz此时指令处理速率为478 MIPS，数据总线以8bit为主模式16bit为扩充模式，地址总线为26位，其功能单元包含片上内存管理单元（MMU）、中断控制器、MPEG-4/H.264编解码加速器和各种功能接口（I2C、UART、MFI、SD、H-UDI、TS、SIU、MSIOF、SPI Boot、LCD、CODEC和NTSC等），此外还包含可供用户操作的片上RAM和Cache单元、32位内部地址总线，8级流水线，片上乘法器，4G地址空间。SH7363的内置电源管理功能可以优化CPU电源功耗，进而能满足手机处理器中低功耗的需求。有关SH7363内部模块结构见图3-8所示。

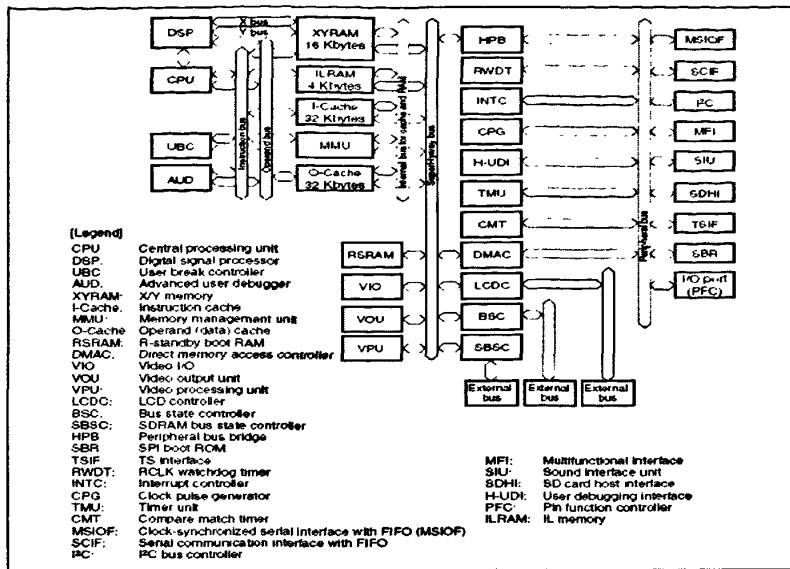


图3-8 SH7363内部模块结构

本系统平台是基于SH7363基带处理器建立起来的，SH7363不仅能实现TS解码的功能，也能承担基带电路的功能控制和实现，芯片所需工作电压为1.2V、1.8V和3.3V。系统功能架构如图3-9所示。

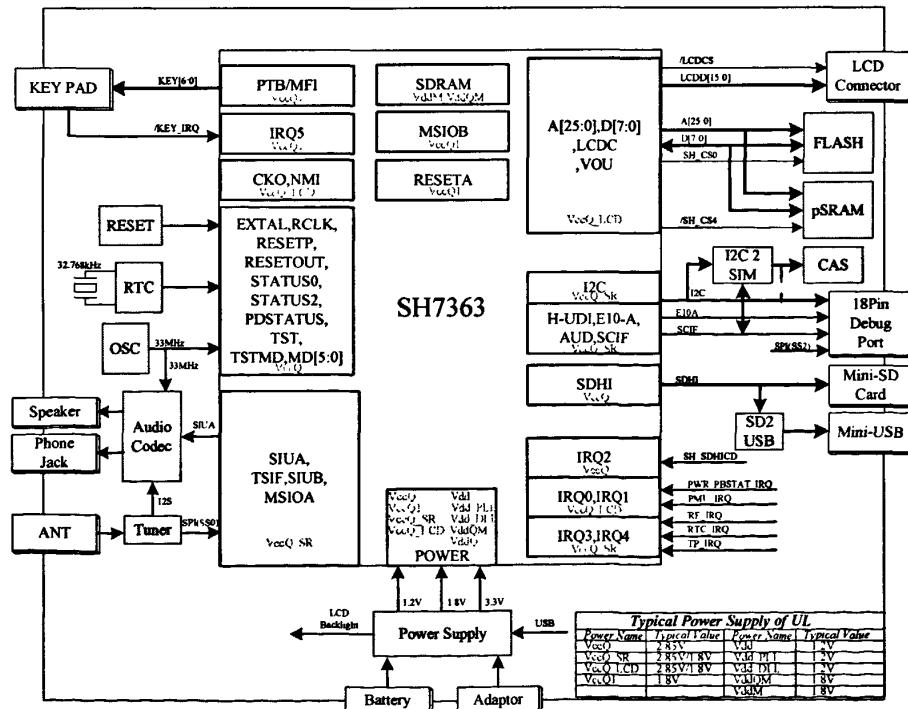


图3-9 系统功能架构图

(1) SH7363通过SPI接口接收来自RF模块出来的TS码流，再经SH7363解码单元处理后转换成音、视频数据流并通过内部LCD模块（LCDC）和音频模块（SIUA）送到外围电路同步输出，进行T-DMB制式的节目播放。

(2) SH7363本身没有SIM接口，当与CAS芯片通信时需增加接口转换芯片来实现对CAS芯片的数据读取并提供电平转换。当读取CAS芯片数据时，波特率一般设定为9600 Bps，此时数据的收发是通过接口转换芯片连接到SH7363的SCIF接口进行双向传输。

(3) 基带部分的多媒体数据主要从SD卡读取，SH7363的中间件支持JPEG、MP3、MP4、PMP等格式文件的播放，音视频数据流同样从SH7363内部的LCD模块和音频模块送到外围电路同步输出。由于SH7363没有USB模块，因此当使用USB接口传输数据时增加了USB读卡芯片，使得系统能通过USB连接到PC进行文件传输和读取。

(4) SH7363采取SIP封装技术内置128Mbit的SDRAM，同时系统的存储模块还包含64Mbit的NOR-Flash和64Mbit的pSRAM作为内存扩充所用。其中NOR-Flash主要存放SH7363初始化所用的Bootloader代码，而pSRAM主要存放TS码流节目中的增值服务数据，比如股票、气象和财经信息等。

(5) SH7363没有键盘扫描控制模块，系统所需的按键控制均由SH7363的GPIO口来操作，系统所用到的按键包括7个功能键、开/关机键、复位键和锁键盘键。CPU对七个常用功能键进行轮循扫描，一旦有按键触发CPU就会立即响应按键中断，完成相应操作。

(6) 系统包含实时时钟芯片，CPU通过I2C总线来读取时间参数或设定定时器进行开机/关机/闹铃功能。同时，实时时钟芯片用到的32.768kHz时钟源也可输出给CPU，节省了成本。

(7) SH7363有两个音频接口模块SIUA和SIUB，但由于SIUB同SPI接口复用不能使用，因此SIUA接口作为CPU的音频处理单元对音频CODEC芯片进行操作。另外，从RF模块输出的DAB数据流通过I2S接口也直接连接到音频CODEC，这样在实际使用时当选择从CPU输出音频数据流时RF模块的I2S需设置为输出高阻，当选择从RF模块输出DAB音频数据流时CPU的SIUA输出设置为高阻，避免音频信号受到干扰。

(8) SH7363内置高性能LCD控制器（LCDC），支持RGB总线接口模式（8/9/12/16/18比特数据位宽）和80系列CPU总线接口模式（系统总线接口，8/9/12/16/18比特数据位宽）。系统采用的TFT LCD为16bit总线接口模式，与SH7363 LCDC高16bit相连接即可进行数据操作。

(9) SH7363内置用户调试接口（H-UDI）使得方案开发中对CPU进行程序

烧写和调试变得很简单。当使用 H-UDI 接口对 CPU 进行操作时，需使用 Renesas 提供的专用烧写工具 E-10A，以及编译器 HEW (High-performance Embedded Workshop)。在本系统中设计了一个 18pin 的数据调试口，除了包含 E-10A 所需的信号外还增加了 I2C、SCIF 和 SPI 信号便于整个系统程序调试。

(10) SH7363 包含专用的中断模块去响应每个中断事件，系统中总共使用了 6 个中断引脚，其信号定义参见表 3-4。

表 3-4 系统中断信号定义

序号	中断号	功能描述	信号定义
1	NMI	非屏蔽性中断	未使用
2	IRQ0	/PWR_IRQ	电源管理芯片中断
3	IRQ1	PWR_PBSTAT_IRQ	电源按键状态指示中断
4	IRQ2	SH_SDHICD	SD 卡插入检测中断
5	IRQ3	/RF_IRQ	TUNER 模块中断
6	IRQ4	/RTC_IRQ & /TP_IRQ	实时时钟中断 & 触摸屏中断
7	IRQ5	/KEY_IRQ	按键触发中断

3.3.3 CA 智能卡

目前，国内运营商所使用的加密系统主要由荷兰的 Irdetu 公司和韩国的 CoreTrust 公司提供，接收端在对加密 TS 流进行解扰和解密的过程中也必须使用相应的 CA 智能卡 (Smart Card) 才能接收付费电视节目。CA 智能卡有做成 SIM (Subscriber Identity Module) 卡的形式也有做成 SMD (Surface Mount Device) 芯片的形式，本系统中所用的 CA 智能卡为 SMD 封装的芯片。

Irdeto 公司提供的加密设备主要包含 PISYS 和 SAS (Stand Alone Scramble)，其中 PISYS 设备是 CA 功能控制系统的中心，它能控制所有的 SAS 设备，操作员可通过 PISYS 直接改变用户接收节目的权限，而 SAS 设备又分为 ECM SAS 和 EMM SAS 两种：

➤ ECM SAS 是设置在 A/V 流编码器和网关之间的设备，它是用来将包含 CW 的 ECM 包插入传输流，最后一同以高级加密标准 (AES) 进行加扰并发送；

➤ EMM SAS 并不直接进入包含 A/V 数据的 TS 流，而仅仅装载 EMM 包并以 TS 流形式打包进入网关，最后一同被发送。

所有的 SAS 设备均使用异步串行接口 (ASI) 同网关连接，并通过以太网同 PISYS 设备连接。此外，EMM 包还可通过 SMS 移动通信网络进行带外传输，这样既可以减轻 EMM 通道带宽压力，也能在用户关闭 T-DMB 服务的情况下正常接

收EMM信息。

本系统针对运营商的需求选用了 Irdeto 公司的 IRD4-ZA710300 和 CoreTrust 公司的 SM2110 智能卡。由于上海地区使用的是 Irdeto 系统，而 Core Trust 系统主要在北京和广东使用，因此系统主要是实现了 IRD4 的 CA 解密功能，对 SM2110 仅做了电路设计功能尚未实现。智能卡在系统中的设计如图 3-10 所示。

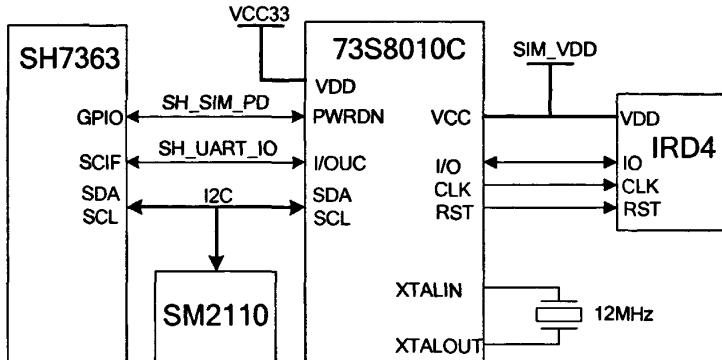


图3-10 CA智能卡电路设计

IRD4 数据接口为标准 SIM 卡接口类型，而 SM2110 为 I2C 类型。在 3.2.2 中提到过，由于 SH7363 并没有 SIM 接口，因此需增加接口转换芯片 73S8010C 来实现 SH7363 与 IRD4 之间的数据通信并给智能卡提供 5V 的电平（由 3.3V 升压转换而来）。此外，IRD4 工作所需的标准时钟为 6MHz，是由 73S8010C 外部输入的 12MHz 时钟在芯片内部分频而来，并且 IRD4 的复位信号也由 73S8010C 提供。在整个通信过程中，实际上是由 SH7363 通过 I2C 接口对 73S8010C 进行操作，实现 73S8010C 对 IRD4 的初始化设置，当 IRD4 工作之后再通过 IO 口与 SH7363 的 SCIF 即串行通信接口进行双工通信，这是因为 73S8010C 的 I/O 与 I/OUC 可配置为直通模式。另外，如果需要在 Core Trust 加密服务区使用 SM2110 智能卡时，则可通过 SH7363 的 GPIO 口设置 73S8010C 进入休眠模式，而 IRD4 由于电源关闭也停止工作，此时 SH7363 可通过 I2C 接口直接对 SM2110 进行读写，SM2110 芯片地址为 1010000，最大工作时钟为 7KHz。

3.3.4 CODEC 音频解码

系统音频解码部分采用立体声音频编解码芯片 WM8976，进行音频解码输出，其工作电压在 2.5V~3.6V，支持 8ohm/16ohm 0.5W Speaker 输出、立体声耳机输出和差分线/单端线的麦克风输入。

WM8976 具有标准音频接口，支持 I2S, DSP/PCM 模式，可以配置成 Master 或者 Slaver 模式。WM8976 提供 2 线/3 线控制接口，当 MODE pin 接地时为 I2C 总线模式。通过 I2C 配置寄存器可以关闭 CODEC 内部电路中未使用的模块电源，支持 Standby 和 Power off 工作模式。

SH7363 内部 SIU 模块工作需要 11.2896MHz 时钟，由给 WM8976 内部 PLL 将 33MHz 时钟分频至 11.2896MHz，通过 CSB/GPIO1 引脚送给 SH7363，如图 3-11 所示。WM8976 的工作时钟由 33MHz 的晶振或者 RF 模块的 I2S 接口提供。当 SH7363 操作 WM8976 时，通过 SIU 接口输出 I2S 音频数据流到 WM8976，音频模拟信号通过 Headphone 或 Speaker 输出，输出通道选择由系统检测是否有耳机插入来决定，插入耳机时通过 Headphone 输出音频，未有耳机插入时通过 Speaker 输出音频。WM8976 通过检测信号 JACK DETECT (PIN L2/GPIO2) 的状态来控制输出设备，耳机插拔与输出设备之间关系如表 3-5 所示。

表 3-5 耳机插拔状态

Jack Status	JACK DETECT(L2/GPIO2)	Output Device
Push in	1	Headphone
Pull out	0	Speaker

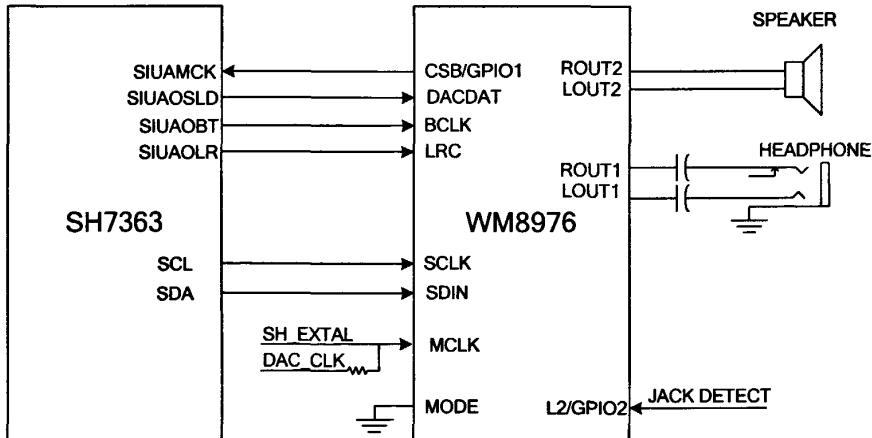


图 3-11 CODEC 输入输出控制

3.3.5 存储模块

SH7363 需要通过外部总线扩展 8MB 的 NOR Flash 以及 8MB 的 pSRAM 用于存放程序代码及大量动态数据的存放。NOR Flash 选用 S29JL064H，总线结构为 $4M \times 16bit$ 或 $8M \times 8bit$ ；pSRAM 选用 K1S64161CD，总线结构为 $4M \times 16bit$ 。

由于 SH7363 的总线为 8bit，因此将 S29JL064H 配置成 $8M \times 8\text{bit}$ 来使用，CPU 地址总线使用 A22~A0，数据总线使用 D7~D0。Flash 片选信号使用 CS0，地址空间 0x00000000~0x007FFFFF，总共 8MByte，其连接方式如图 3-10 所示。pSRAM 的数据宽度为 16bit，通过/LB 和/UB 来选择高低 8bit 数据，这里由 A22 控制/LB，A22 为 0 时选通低 8bit 存储空间，通过将 A22 反相来控制/UB，当 A22 为 1 时选通高 8bit 存储空间。SH7363 的数据总线 D[7:0] 与 Flash、pSRAM 的 D[7:0] 相连，同时也与 pSRAM 的 D[15:8] 相连。其结构如图 3-12、3-13 所示。

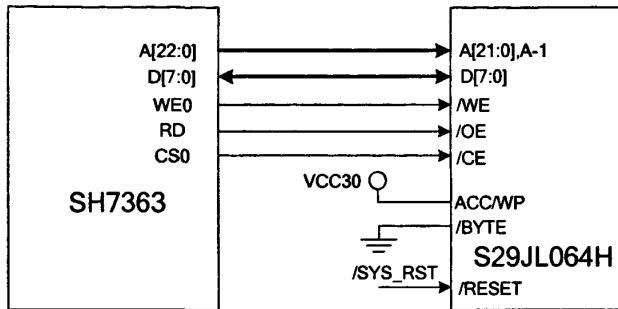


图 3-12 Flash 模块连接示意图

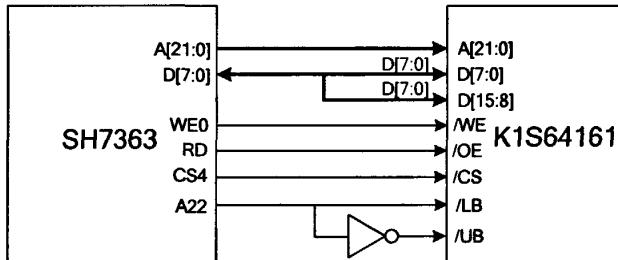


图 3-13 pSRAM 模块连接示意图

系统存储空间地址分配如表 3-6 所示。

表 3-6 系统存储空间地址分配

区域	地址空间	使用范围	空间名称	设备
NO.0	0x00000000~0x03FFFFFF	0x00000000~0x007FFFFF	Flash 地址	外部 8MB Flash
NO.1	0x04000000~0x07FFFFFF	未使用	内部 I/O 寄存器	—
NO.2	0x08000000~0x0BFFFFFF	未使用	—	—

区域	地址空间	使用范围	空间名称	设备
NO.3	0x0C000000~0x0FFFFFFF	0x0C000000~0x0FFFFFFF	SDRAM 地址	内部 16MB SDRAM
NO.4	0x10000000~0x13FFFFFF	0x10000000~0x107FFFFFF	pSRAM 地址空间	外部 8MB pSRAM
NO.5A	0x14000000~0x15FFFFFF	未使用	—	—
NO.5B	0x16000000~0x17FFFFFF	未使用	—	—
NO.6A	0x18000000~0x19FFFFFF	未使用	—	—
NO.6B	0x1A000000~0x1BFFFFFF	未使用	—	—
NO.7	0x1C000000~0x1FFFFFFF	未使用	—	—

3.3.6 时钟解决方案

系统需要多种频率的时钟信号。核心处理器 SH7363 所需时钟为 32.768KHz 和 33MHz；语音编解码芯片 WM8976 内部 A/D、D/A 采样时钟为 11.2896MHz，但由于 WM8976 内部带有 PLL 锁相环，可以接入 33M 时钟进行分频处理，同时可产生时钟送给 SH7363 的 SIU 接口；在 USB 模块，需要用到 12MHz 的时钟晶体，另外在 RTC 模块中，需要 32.768KHz 的晶体，同时 RTC 模块可以送出 32.768KHz 的时钟。因此在本设计中用到一个 32.768K 的晶体，一个 12MHz 的晶体和一个 33M 的晶振。如图 3-14 所示，其中 DAC_CLK 为 RF 模块 I2S 产生的时钟信号，作为备选供 WM8976 使用。

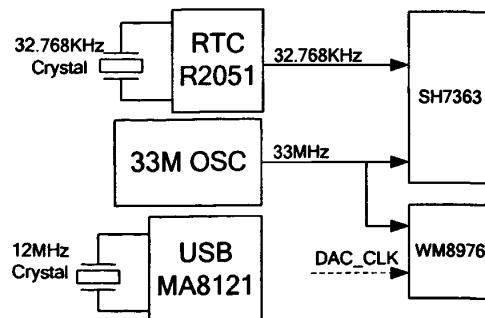


图 3-14 时钟解决方案

3.3.7 外围接口电路

(1) LCD 接口

LCD 显示屏采用 TS032HAACB02 模组，为 3.2” TFT LCD，带有触摸屏面板，支持 16bit 总线接口模式。系统硬件设计中也采用了 16bit 系统模式，SH7363 使用 LCDRD, LCDWR, LCDRS, LCDCS 控制信号线，D[15:0]十六位数据总线与 LCD 模块的 SYS 总线接口部分相连。接口如图 3-15 所示。

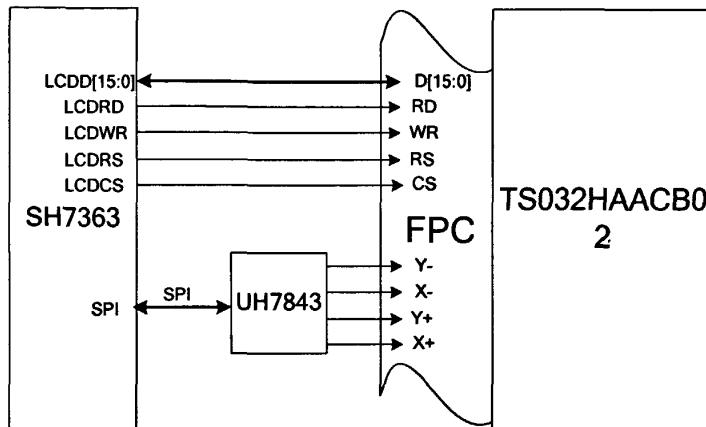


图 3-15 LCD 模块 SYS 模式接口示意图

触摸屏控制芯片选用 UH7843，支持四线（X+/Y+/X-/Y-）电阻式触摸屏，内含 12 位 AD 转换器，最高 125KHz 转换速率，通过 SPI 接口与 SH7363 通信。

(2) SD 卡接口

系统采用 Mini-SD 进行存储扩展，SH7363 具有 SD Card 的 Host 接口，因此通过扩展 SD 卡接口卡槽即可连接 Mini-SD 卡。其接口如图 3-16 所示。同时，SD 卡还与 USB/SD 转换芯片 MA8121 相连，PC 机可以通过 USB 接口访问 SD 卡存储器。SD 卡也可以用于系统固件的更新。

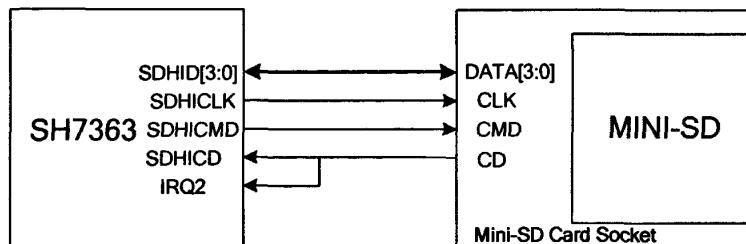


图 3-16 SD 卡插槽接口示意图

为了降低系统功耗，系统需要对 SD 卡进行功耗控制，在 SD 卡不使用时切断其电源，该功能可由 SH7363 通过 I2C 接口控制 LP3913 内部寄存器实现。

(3) USB 接口

SH7363芯片自身不带有USB device 接口，为支持通过USB接口对SD存储卡的访问功能，扩展一片USB2.0 SD/MMC读卡器控制芯片MA8121。MA8121完全兼容USB2.0/1.1规范，高速USB接口，支持480Mbit/s和12Mbit/s的传输速率。同时支持SD1.1、2.0 SDHC、Mini SD和Micro SD接口。MA8121与SH7363的连接原理如图3-17所示。

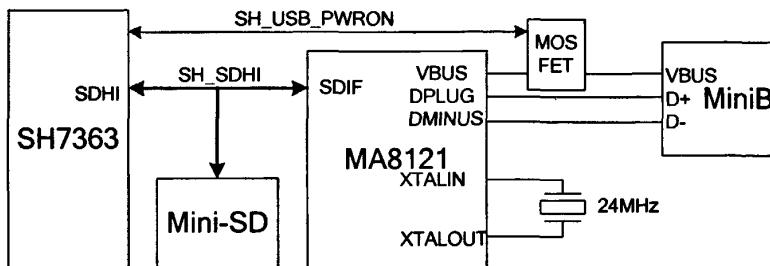


图 3-17 USB 模块示意图

MA8121 使用三个端点，EP0，EP1 和 EP2。64 字节的 EP0 用于控制传输，EP1 和 EP2 为 512 字节，EP1 用于数据的接收，EP2 为数据发送。符合 USB 设备类关于大容量存和 Buck 传输的规范。

(4) 键盘模块

系统有 7 个功能按键，一个键盘锁按键，一个开关机按键和一个复位按键，其中功能按键包括五维方向键、确定键/音量+键、取消键/音量-键，而复位按键只在调试时使用。由于 SH7363 处理器内部没有键盘扫描模块，因此，只能通过 GPIO 口来模拟键盘控制，由软件进行消除抖动等相关处理，如图 3-18 所示。

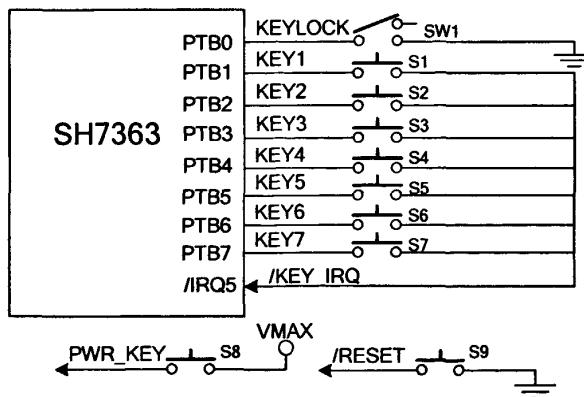


图 3-18 键盘模块示意图

由于 LP3913 的 ONOFF 检测电平为高电平，因此开关机按键 S8 一端接

VMAX，另一端与电源管理芯片 LP3913 的开机功能信号引脚 ONOFF 相连，同时 ONOFF 引脚下拉至地，LP3913 的输出 ONSTAT 信号至 CPU，指示与 ONOFF 引脚相连的按键的状态。S9 为系统提供手动复位信号。

(5) 调试接口

系统调试接口将 SH7363 的 JTAG 调试功能信号，串行调试信号，I2C 及 SPI 信号引出到调试板上，方便调试，节省主板空间。调试接口通过 18pin 接口连接到调试板，里面的信号包括：

- ◆ 支持标准的 JTAG 调试接口，通过 E10A 调试器与 PC 机相连；
- ◆ 串行调试信号，在调试板扩展 RS232 接口芯片（支持 TxD，RxD）及 DB9 (male) 接口；
- ◆ I2C 信号；
- ◆ SPI 信号。

同时调试接口还为调试板提供 3.0V 的电源，使调试板可以在无外接电源的情况下工作。调试接口连接见图 3-19 所示。

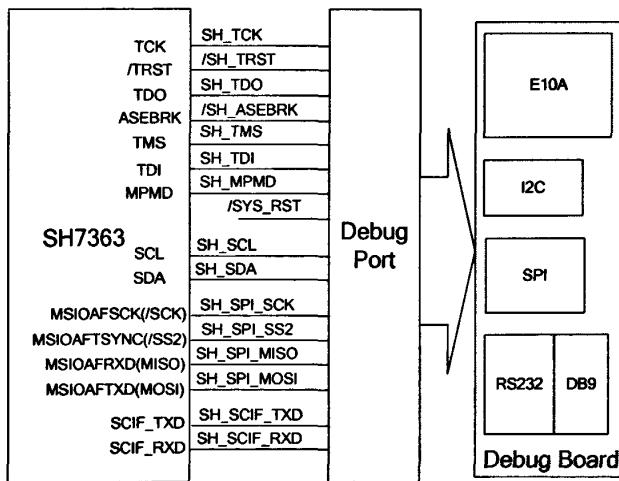


图 3-19 调试接口连接示意图

第 4 章 软件系统关键模块分析

本章对系统的软件平台做了介绍，包括 T-Kernel 操作系统下的 CPU 启动过程和驱动开发环境，重点分析了系统对 MPEG-4 数据流的解析过程，以及 Irdeto CA 系统在接收端的解密实现。

4.1 系统软件构成

4.1.1 T-Kernel 规范基本概念

标准开源结构实时操作系统核心 T-Kernel，是基于嵌入式设备领域中拥有众多业绩的 TRON (The Realtime Operating Nucleus) 操作系统建立起来的，并在此基础上引入了子系统等功能，是一种实现从小型嵌入式设备到大型高级系统开发的大规模化操作系统。

在 T-Kernel 中仅包含实时核心的基本功能，不包括文件管理、网络管理和 GUI 等功能。文件管理等功能由运行在 T-Kernel 的基本中间件提供，与 T-Kernel 组合使用。其中 T-Kernel Extension 模块为应用层与操作系统之间的中间件，提供文件管理、事件管理和过程管理等功能。此外，GUI、通信协议、多媒体协议、语音、视频、文字识别等各种中间件以及浏览器等大型应用程序和设备驱动程序则由 T-Engine 予以移植和开发，T-Engine 是一种由 T-Engine 组织开发的面向最终应用产品的硬件平台，通过它可以进行高级信息终端和移动设备的开发，并能大幅度缩短嵌入式系统的开发周期。

T-Kernel 的目的之一是提供不同规模的各种嵌入式设备系统中的中间件等软件的流通性。为了实现这一点，对 T-Kernel 进行了强标准化。即使是不同 CPU 的 T-Kernel，也应尽可能减少规范上的不同点。T-Kernel 所包含的基本概念如下：

(1) 任务(task)和调用任务(invoking task):并行程序执行的基本逻辑单元称为“任务”。一个任务的程序是顺序执行的；而不同任务的程序是并行执行的，进行系统调用的任务被称为“调用任务”。

(2) 分派(dispatch)和分派器(dispatcher):处理器执行的任务间的切换称为“分派”。用来实现分派的内核机制叫做“分派器”。

(3) 调度(scheduling)和调度器(scheduler):决定要执行的下一个任务的处理过程称为“调度”。用来实现调度的内核机制叫做“调度器”。

(4) 环境(context): 程序执行的外在条件即称为环境。

(5) 优先权(precedence): 不同任务之间的、决定任务的先后次序的关系称为“优先权”。在处理较低优先权任务的过程中，如有一个拥有更高优先权的任务请求发生，通常，拥有较高优先权的任务将先于其他任务执行。

(6) API 和系统调用: API (Application Program Interface) 是为了能够由应用程序和中间件调用 T-Kernel 提供的功能而定义的标准接口的总称。

T-Kernel 从功能上可以分为 T-Kernel/OS (操作系统)、T-Kernel/SM (系统管理) 和 T-Kernel/DS (调试支持) 3 个部分。T-Kernel/OS 是 T-Kernel 的核心部分，实现其任务管理和同步控制等作为实时 OS 的基本功能；T-Kernel/SM 提供设备驱动程序和系统内存的管理等系统总体管理功能；T-Kernel/DS 提供调试器开发工具的功能，因此，如果进行通常的编程，就不需要意识到 T-Kernel/DS 的存在。有关各部分的函数功能如表 4-1 所示。

表 4-1 T-Kernel 分类函数功能

分类	功能
T-Kernel/OS	任务控制函数功能 任务间同步通信函数功能 内存管理函数功能 异常/中断控制函数功能 时间管理函数功能 子系统管理函数功能
T-Kernel/SM	系统内存管理函数功能 地址空间管理函数功能 设备管理函数功能 中断管理函数功能 I/O 端口访问支持函数功能 电源管理函数功能 系统配置信息管理函数功能
T-Kernel/DS	内核内部状态查询 执行跟踪

4.1.2 系统程序运行流程

SH7363 处理器启动所需的初始化文件 (Bootloader) 在 T-Kernel 开发环境下称为 Monitor 文件。Monitor 的主要功能是提供硬件初始化及系统启动、异常、

中断处理和基本调试功能。系统工作的第一步应当是执行 Monitor 程序, Monitor 程序既可放在片外存储设备(如 Flash、EPROM 等)下载到 SH7363 的 SDRAM 里,然后初始化 SH7363 的内部寄存器使其进入工作状态,也可通过 HEW(High-performance Embedded Workshop)编译器直接在 SH7363 的 SDRAM 内部执行 Monitor 程序使其进入工作状态, Monitor 程序启动流程如图 4-1 所示。

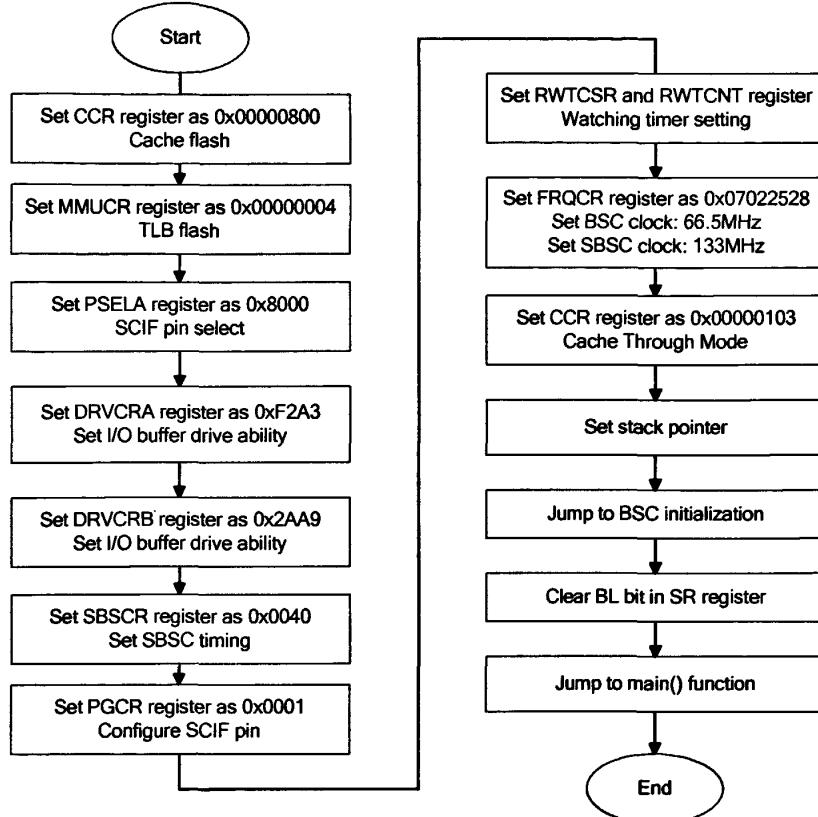


图 4-1 Monitor 程序启动流程

Monitor 程序的具体功能包括:

- 提供 SH7363 内部 MMU 单元和引脚功能控制 (PFC) 寄存器初始化: 程序存放在 start.c 文件。
- 提供总线状态控制寄存器 (BSC) 初始化: 程序存放在 start.c 文件。
- 提供串行通信接口 (SCIF) 配置初始化: 使能 SH7363 与 PC 机进行串口通信, 程序存放在 start.c、printer.c 和 stdio.c 文件。
- 提供片外 Flash 空间操作: 包括 Flash 读写、段擦除和整片擦除等, 程序存放在 flash.c、flash.h 文件。
- 中断控制: 中断处理和跳转, 程序存放在 gv.c、gv.h 和 asm.src 文件。

- 缓存操作：控制 Cache 寄存器（CCR）开或关，程序存放在 init.c 文件。
- 命令控制：当执行 Monitor 程序使 SH7363 启动工作后，会通过串口打印出信息表明所执行的 Monitor 版本和相关信息，此时可通过 PC 机超级终端对 SH7363 进行命令控制并测试 CPU 是否完全正常，程序存放在 domemory.c、dogo.c 和 dohelp.c 文件，Monitor 支持的命令如表 4-2 所示。

表 4-2 Monitor 程序命令

Category	Command	Description
Host PC Interface	ML (Memory Load)	从 PC 机下载程序到 CPU SDRAM，文件格式为 MOT 文件（Motorola 格式）
Flash RAM Write	FL (Flash Load)	从 PC 机下载程序到 Flash
Flash RAM Erase	EF(Erase Flash)	Flash 芯片擦除
Memory	ME (Memory Edit)	按字节或字修改 SDRAM 空间所存放的数据
	MD (Memory Dump)	显示 SDRAM 空间所存放的数据
	MF (Memory Fill)	填充 SDRAM 空间所存放的数据
Program Run	G (Go)	执行命令
Others	H (Help)	对每种命令进行简要描述说明

SH7363 正常启动后，便能通过总线控制系统进行各种操作，通过设备驱动程序来使能各模块电路运行。系统的设备驱动包括键盘、Flash、pSRAM、SD、UDI、LCD、RTC、Tuner、CODEC、Smart card、USB 等。由于需要实时的对多任务进行控制，比如按键响应、节目搜索、节目切换、数据解析、LCD 控制和触摸响应、音频输出控制等，T-Kernel 操作系统与设备驱动程序是密不可分的，而应用层的程序(GUI、HMI)与设备驱动程序依靠中间件的接口代码相关联，图 4-2 描述了系统软件的整体结构。

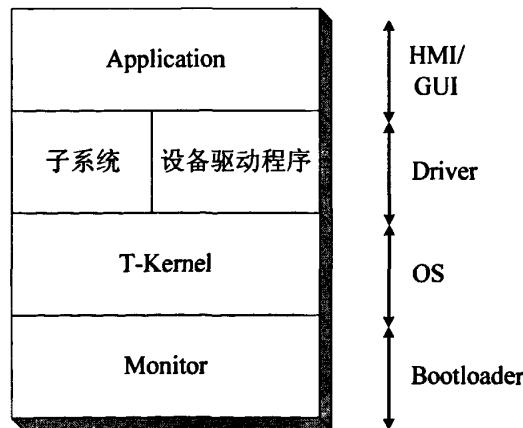


图 4-2 系统软件结构

4.2 TS 码流解析模块

GDM350 模块所解调出的 TS 码流通过 SPI 接口送给 SH7363，而所接收到的 DAB 信号经模块内部解码成 PCM 数据后，直接通过 I2S 接口送给 CODEC 输出音频。空中信号携带的 TS 码流平均速率大约为 440Kbps，系统中将外围总线时钟 33MHz 进行 8 分频作为 SH7363 SPI 接口的串行时钟，因此，数据接口最大传输速率为 $33M/8 = 4.125Mbps$ ，在传输速率上完全满足需要。

前面 2.3 节讲述了 T-DMB 传输系统将 MPEG-4 音视频和业务数据通过同步层将其打包成同步包，之后又经过 PES 打包器和 Section 生成器变成 PES 包和 Section 格式包，最后统一变为 MPEG-2 TS 包。那么系统在进行 TS 包解析时，也是遵循这个流程反过来逐步还原出最初的 ES 数据^[34-36]。

4.2.1 PSI 组成结构

TS 流由一个或者多个节目的 TS 包复用而成，每一个节目的 TS 包包含视频、音频、节目特殊信息流以及其他业务数据包。在对所选节目进行解码时，首先要搜索该节目对应的相关信息，然后再将包含各信息的 TS 包进行解析，这些信息均与节目特殊信息（PSI）密切相关。PSI 在 TS 包解析中非常重要，它主要分为四个表来定义码流的结构，分别是 PAT(节目关联表)、PMT(节目映射表)、CAT(条件接收表)和 NIT(网络信息表)，PSI 的结构和各表的 PID 号由 ISO/IEC 13818-1 定义，见图 4-3 和表 4-3 所示。

表 4-3 PID 定义表

Value	Description
0x0000	PAT PID
0x0001	CAT PID
0x0002~0x000F	Reserved
0x0010	NIT PID
.....	PMT PID
0x1FFE	ES PID Other PID
0x1FFF	Null packet

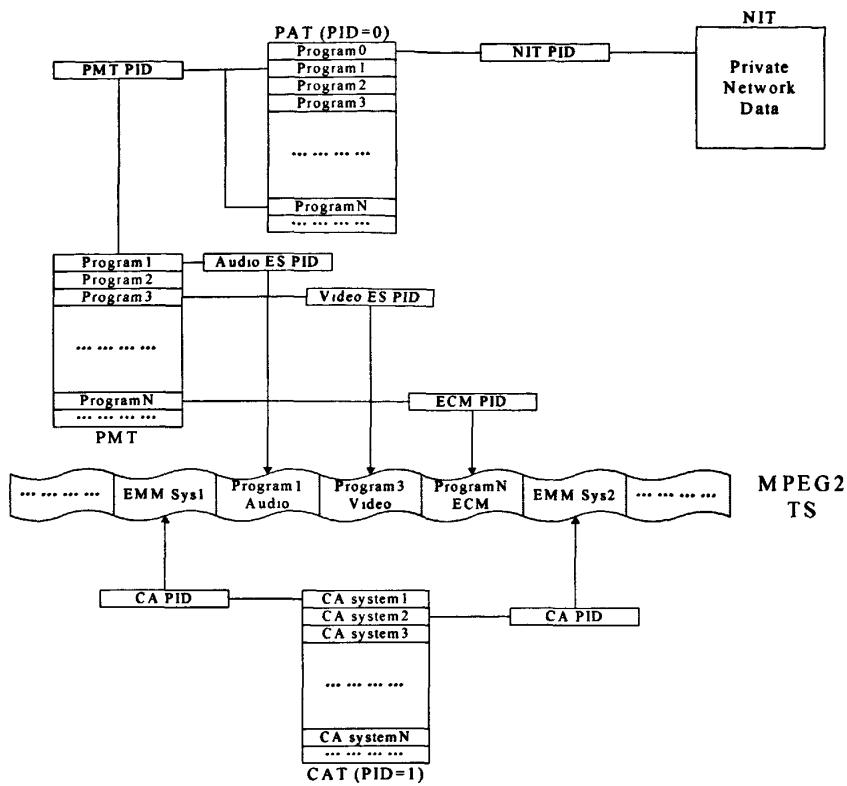


图 4-3 PSI 组成结构

(1) PAT 表为 PSI 信息的索引表，列出了 TS 中复用的所有节目的 PMT 表和 NIT 表的 PID 值，使每个节目与 PMT 或 NIT PID 一一对应起来，系统在搜索节目时首先只需解析包含相关 PID 的 TS 包即可。

(2) PMT 表为节目信息索引表，如果用户希望接收某个节目，即可根据 PMT 的 PID 值获取相关节目的 TS 包，然后提取对应于该节目的 PMT 表，从而可以查询到与节目相关的包含音频、视频、加密数据（ECM）的 TS 包。在接收时只需解析具有这些 PID 值的 TS 包便能获得节目数据。

(3) CAT 表为加密系统信息索引表，列出了所有包含 EMM 流和其他特殊信息的 TS 包 PID，便于 CA 解扰系统对 EMM 信息定位解析。

(4) NIT 表为用户自定义选择的信息索引表，可用于提供有关 TS 的物理网信息，如信道频率、卫星转发器详细情况、调制方式、业务名称等。

4.2.2 系统解码流程

系统在对多节目复用的 TS 码流解码时，首先解析每个 TS 包头，寻找包含 PAT (PID 为 0) 的 TS 包并解析出节目映射信息列表 (PMT)，然后再根据信息列表搜索与节目相关的 TS 包并解析出音、视频数据。由于 TDMB 的 TS 码流经过了同步层和 PES 打包处理，因此在解析出 MPEG-2 的 TS 包头后还需分别解析 PES 和 SL 包头，最终获得音、视频和业务信息。系统解码流程如图 4-4 所示。

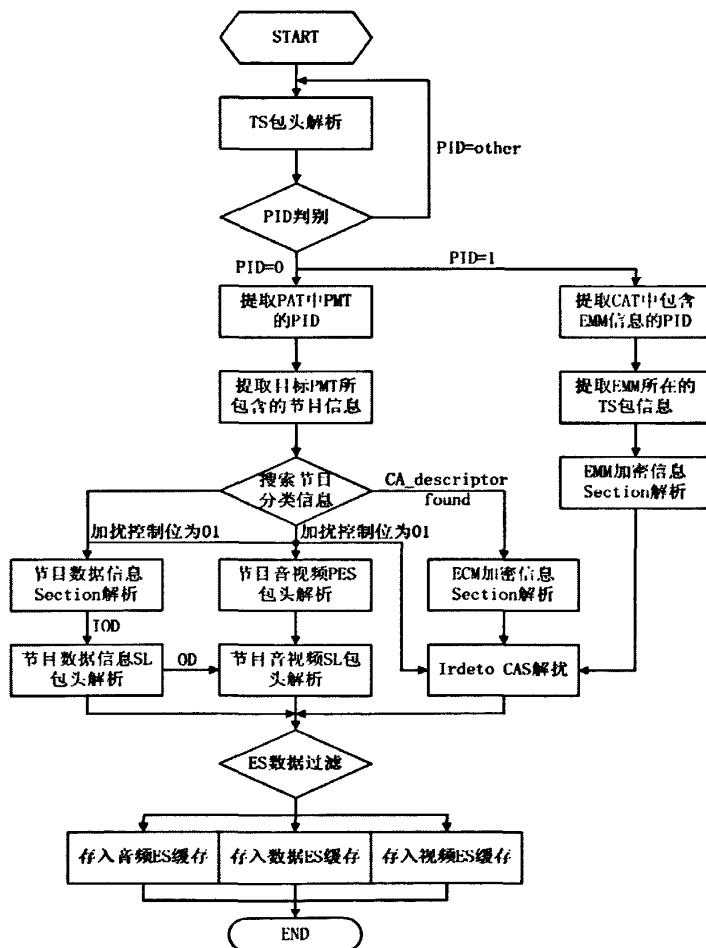


图 4-4 系统解码流程

当解析包头时，对缓冲区的 TS 包对照包头格式逐比特进行即可，但需要注意利用包头中的各部分信息来优化解析流程。包头解析流程如下：

- (1) 首先为判断同步字节，即判断收到的 TS 包第一个字节是否为 0x47，若

为“是”，则继续往下解析；若为“否”，则直接返回同步错误，此包不作解析。

(2) 接下来的 1bit 是传输误码指示位，当此位为“0”时，表示 TS 包无传输错误，可继续往下解析；当此位为“1”时，表示 TS 包有不可纠正的传输错误，返回传输错误，此包不作解析。

(3) 接下来的 1bit 是有效载荷单元起始指示符，指示当前 TS 包的载荷是否包含 PES 或 Section 的包头，将其存入解析函数作为后面的程序调用。

(4) 接下来的 1bit 是传输优先指示，此位为 1 时此 TS 包具有比其他相同 PID 的 TS 包更高的传输优先权，此位为“0”时表示此包无传输优先权。

(5) 接下来的 13 个 bit 是 PID 值，存入解析函数作为节目信息解析判断。由于一条 TS 码流可能是多套节目的 TS 包的复合体，因此当用户选择收看某套节目时，并非所有的 TS 包都需要被解析。此时，与本节目相关的 PID 被存入 PID 过滤器中，进行 PID 过滤判断时，如果当前 TS 包的 PID 没有在过滤器中找到，那么程序需要进一步判断当前 TS 包的 PID 是否是 PCR PID，如果不是，返回。如果是，保存 PCR 值之后返回。

(6) 接下来的 2bit 是传输加扰控制，指示 TS 包的载荷是否受加扰，“00”表示不加扰，其他数值均表示加扰，不同地区运营商对应此数值可能不同，上海地区的 CA 系统中受加扰的 TS 包中此位为“01”。

(7) 接下来的 2bit 是自适应控制符，用于指示包头中是否含有可变域和是否含有 TS 负载。程序需判断这个指示符，选择是否对下面的比特进行可变域解析，还是进行 TS 负载解析。

(8) 最后 4bit 是连续计数器，用于制式 TS 流中包含相同 PID 值的 TS 包数量，方便对数据包进行完整解析。

当接收到 PID 为 1 的 TS 包时，即为 CAT 的 TS 包，其 CA_descriptor 中的 CA_PID 指示出包含 EMM 信息所在的 TS 包 PID，将这些 TS 包找出并送入 SH7363 中的缓存^[37-39]；此外，CA_descriptor 还会存在于加密节目的 PMT 中，根据 CA_PID 即可找出包含 ECM 信息的 TS 包，将其送入缓存；在包含加密音、视频和业务数据的 TS 包头中，传输加扰控制位为“01”，当接收到此类 TS 包时也送入缓存，最后将同一节目的数据加密 TS 包和 ECM、EMM 信息一同从缓存提取交给 Smart card 作解扰、解码处理，Smart card 处理后便会返回透明的 TS 数据包并将包头中传输加扰控制位清零。ISO/IEC 13818-1 中关于 CA_descriptor 语法定义如图 4-5 所示。

Syntax	No. of bits	Mnemonic
CA_descriptor()		
descriptor_tag	8	uimsbf
descriptor_length	8	uimsbf
CA_system_ID	16	uimsbf
reserved	3	bslbf
CA_PID	13	uimsbf
for (i=0; i<N; i++) {		
private_data_byte	8	uimsbf
}		
}		

图 4-5 CA_descriptor 语法定义

4.3 Irdeto CAS 解扰模块

在 Irdeto CA 系统中，将 T-DMB 的 TDC 通道用来支持股票行情、外汇和气象等数据业务。因为 TDC 通道相当于用一个透明数据管道把这些增值服务信息直接转发到终端侧，在终端侧的应用程序把原始数据转换为用户可理解的形式呈现出来。这样做既简化了发端对业务数据的处理，又简化了终端侧对数据解码的处理。本系统在接收节目时，将解扰后的增值服务信息反映到菜单上，用户可选择观看相应信息，菜单信息如图 4-6 所示。



图 4-6 增值服务信息菜单列表

菜单中显示了解扰后的服务信息：

- (1) EMM.CAS：包含 EMM 和 ECM 包的数据。
- (2) S TDC-ONE：包含股票即时信息，传输速度为 64Kbps，股票更新速度为 10s，动态发送策略为行情优先。
- (3) W TDC-TWO：包含气象信息，实时预报天气，传输速度为 16 Kbps。
- (4) E TDC-THREE：包含外汇汇率信息，实时更新 27 对外汇行情，速度为 64Kbps。

系统提交的包含 EMM、ECM 和被加扰的 TS 数据包通过 Irdeto 智能卡 IRD4 内的 DSF (Descrambler&CA Section Filter) 中间件接口被分类，并做初级解扰处理^[40]。DSF 有两个作用：对加密的 TS 音视频数据流进行解扰，并从 TS 流中过滤出 CA 段信息。智能卡所搭载的包含上层解扰模块的软核（Softcell）控制着 DSF，随后将分类信息做一系列解扰解密处理，最终还原出透明数据包并返回。整个内核接口处理过程如图 4-7 所示。

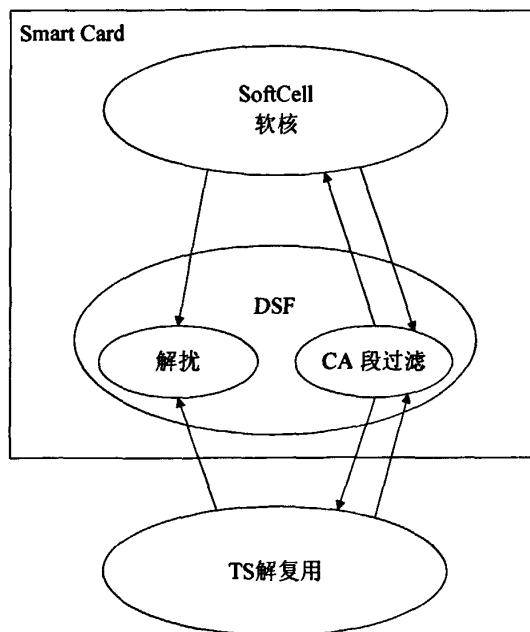


图 4-7 Smart Card 内核处理

第 5 章 系统测试与性能分析

本章针对系统接收和播放 T-DMB 节目分别进行了测试，并说明了测试环境和测试方法，对测试结果和系统性能进行了分析与总结。

5.1 测试工具与环境

系统进行信号接收和播放测试期间所用到的测试工具及环境如下：

(1) 网络分析仪：

Agilent E5071C：主要测试 L-BAND 波段 1458.096MHz 和 1470.080MHz 频点驻波比，并通过调节天线匹配网络使驻波比达到最佳。

(2) T-DMB 信号发生器：

DTV interactive TMG2000：提供加载 Irdeto 实验室 CA 系统的 T-DMB/DAB 信号输出，RF_Level：-110dBm~0dBm，频段支持：BAND-II、BAND-III 和 L-BAND，可测试系统接收和解调 T-DMB 信号的最低灵敏度及对 Irdeto CAS 系统解密的性能。

(3) TS 流解码分析软件：

PnpNetwork USBGUI：在 PC 上观测 TS 流的频道接收状态和 BER，从而分析前端模块所解调出的 TS 流质量及接收灵敏度。

(4) 上海 L-BAND 空中广播信号：

东方明珠电视塔：在 1458.096MHz 上提供 Irdeto CAS 加密后的节目流，在 1470.080MHz 上提供透明节目流，此外还提供 DAB 广播，T-DMB 信号在室外覆盖区域占上海地区 80%以上。播放器可通过观察 LCD 屏上频道列表是否正确，节目画面是否流畅、有无出现马赛克等，来测试系统在静止状态和移动状态下接收空中信号的灵敏度和画面质量。

5.2 系统性能测试

整个系统主要分三个部分来测试 T-DMB 信号接收和解码性能，第一部分为天线匹配网络校准及性能测试；第二部分为实验室环境下，测试系统接收信号

的最小灵敏度；第三部分为接收空中信号进行实测，测试系统解码后播放节目的流畅度和画面质量。系统测试方案如表 5-1 所示。

表 5-1 系统测试方案

测试项目	测试内容	测试方法
天线匹配 网络测试	匹配网络调整后的天线驻波比、增益和效率	主要是通过网络分析仪来观看 L-BAND 两频点的驻波图，并通过调整系统天线输入回路的 π 型阻抗匹配网络，使驻波比接近 1，尽可能减小 RF 输入功率损耗，提高前端信号接收灵敏度
信号接收 客观测试	节目频道信息和 BER	通过 TMG2000 分别输出 Irdeto CAS 加密后的 L-BAND 和 BAND-III 信号，当系统接收并输出 TS 流时，通过接口调试板将 TS 流送到 PC 上 USBGUI 解码软件，然后在软件界面上观测 TS 流的节目频道信息和 BER
信号接收 主观测试	播放画面的音视频质量和流畅度	主要是测试系统在静止和移动状态下播放 T-DMB 节目的流畅度和性能

5.2.1 天线匹配网络测试

系统所用的天线为拉杆天线，总长度约 182mm，外形如图 5-1 所示。在前端电路设计之初预留了 π 型匹配网络，并对板级的天线传输线做了 50Ω 匹配，因此天线的测试过程也是为了调整匹配网络的元件参数，实现接收性能最优化。

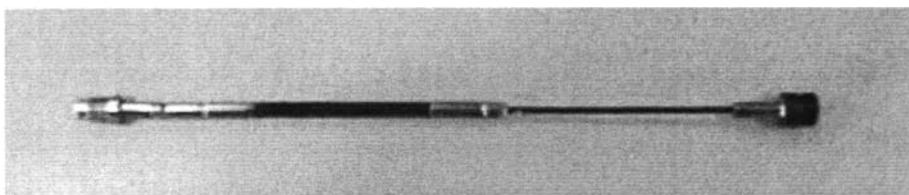


图 5-1 天线外形图

系统在做天线测试时，通过测量驻波比、增益和效率来调整匹配网络参数：

➤ 驻波比全称为电压驻波比，即 VSWR（Voltage Standing Wave Ratio）或 SWR，它是行波系数的倒数，其值在 1 到无穷大之间。驻波比为 1，表示完全匹配，此时天线上没有功率反射；驻波比为无穷大表示功率全反射，完全失配。在移动通信系统中，一般要求驻波比小于 1.5，但实际应用中 VSWR 应小于 1.2。

➤ 天线增益：增益产生的原因比较复杂，通俗来讲，某天线的增益，就其

最大辐射方向上的辐射效果来说，与无方向性的电源相比，就是把输入功率放大的倍数。增益并非越大越好，过高的增益会导致信号不稳定，一般增益值在 2~3dB 比较好。

➤ 天线效率：为辐射功率与输入总功率之比，由于天线损耗电阻的存在，效率值通常小于 1。

(1) 匹配网络调整前测试

测试条件：拉杆天线，长度 182mm，无匹配电路。

测试参数：驻波比、天线增益、天线效率。

测试指标：驻波比<1.2，天线增益：2~3dB，天线效率>60%。

测试方法：无源测试，系统无需上电工作，用网络分析仪探头分别输出 1458.096MHz 和 1470.080MHz 频率，在匹配网络与前端 RF 模块之间的传输线上进行单点测试，观测网络分析仪上的驻波图，如图 5-2 所示。在测试天线增益和天线效率时，考虑到天线的方向性影响，选择了水平和垂直方向来分别测试。

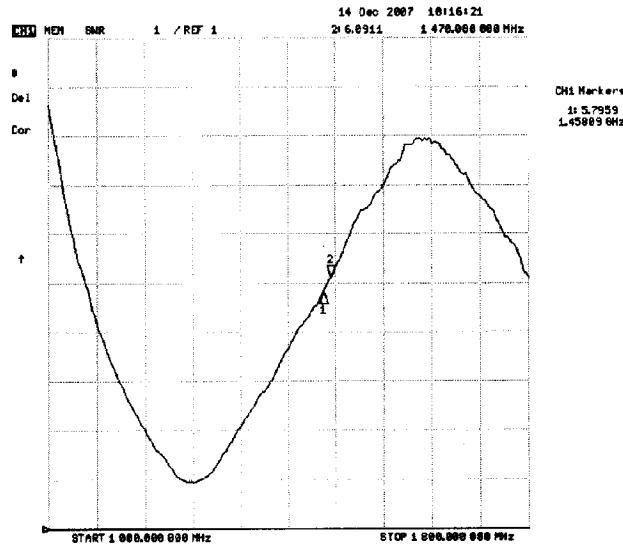


图 5-2 匹配网络调整前的驻波图

由图 5-2 可以看出在 1458.096MHz 频点上，传输线驻波比为 5.7959；在 1470.080MHz 频点上，传输线驻波比为 6.0911，测试值均不理想。下面再对天线增益和效率进行测试，测试方向如图 5-3、5-4 所示，结果如表 5-2、5-3 所示：

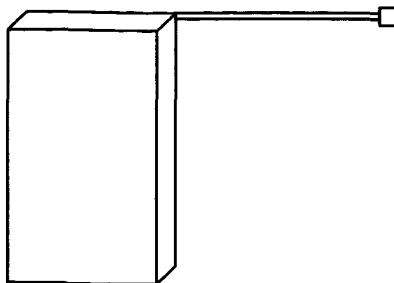


图 5-3 水平方向测试示意图

表 5-2 匹配网络调整前水平方向测试结果

频率 (MHZ)	1458.096	1470.080
增益 (dB)	1.36	1.13
效率 (%)	33.35	31.77

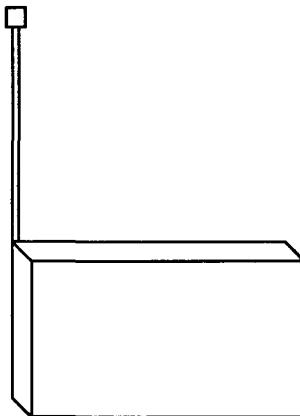


图 5-4 垂直方向测试示意图

表 5-3 匹配网络调整前垂直方向测试结果

频率 (MHZ)	1458.096	1470.080
增益 (dB)	0.92	0.72
效率 (%)	38.12	36.56

测试结论：测试数据表明，天线接收性能指标均未满足预期要求。

(2) 匹配网络调整后测试

测试条件：拉杆天线，长度 137mm，增加匹配电路。

测试参数：驻波比、天线增益、天线效率。

测试指标：驻波比<1.2，天线增益：2~3dB，天线效率>60%。

测试方法：无源测试，调整了天线长度并将匹配网络设置为如图 5-5，用网络分析仪探头分别输出 1458.096MHz 和 1470.080MHz 频率，在匹配网络与前端 RF 模块之间的传输线上进行单点测试，观测网络分析仪上的驻波图，如图 5-6 所示。在测试天线增益和天线效率时，考虑到天线的方向性影响，选择了水平和垂直方向来分别测试。

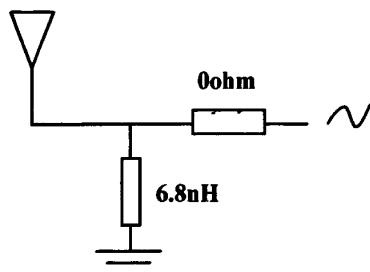


图 5-5 阻抗匹配网络示意图

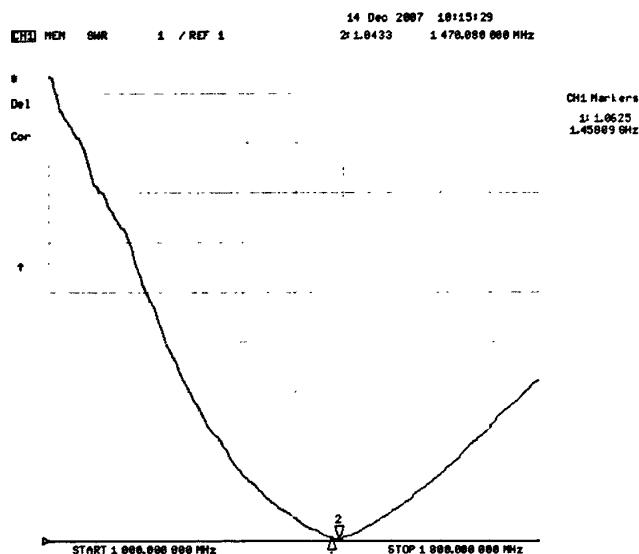


图 5-6 匹配网络调整后的驻波图

由图 5-6 可以看出在 1458.096MHz 频点上，传输线驻波比为 1.0625；在 1470.080MHz 频点上，传输线驻波比为 1.0433，测试值比较理想。下面再对天线增益和效率进行测试，测试方向如图 5-3、5-4 所示，结果如表 5-4、5-5 所示：

表 5-4 匹配网络调整后水平方向测试结果

频率 (MHZ)	1458.096	1470.080
增益 (dB)	3.71	3.71
效率 (%)	68.65	68.51

表 5-5 匹配网络调整后垂直方向测试结果

频率 (MHZ)	1458.096	1470.080
增益 (dB)	2.97	2.97
效率 (%)	64.04	64.14

测试结论：匹配网络调整前，VSWR 较高，天线增益和效率均不理想。通过调节天线长度及匹配电路，使其接收性能提高，从无源的测试结果看经过调整天线效率较之前提高百分之三十左右，天线增益提高 2dB 左右，所测试的数据基本达标。

5.2.2 信号接收客观测试

在实验室环境下，通过信号发生器和 TS 流解码软件来分析系统接收 T-DMB 信号的最小灵敏度。所使用的 T-DMB 信号发生器 TMG2000 支持 Irdeto 公司的 TS 加密文件播放，测试时分别选取 1458.096MHz、1470.080MHz 和 175.280MHz 三个频点来测试系统接收解析 L-BAND 和 BAND-III 加密 TS 流的灵敏度。

测试条件：系统未加拉杆天线，由 TMG2000 发送信号通过同轴电缆与系统 RF 输入端通过外接 SMA 连接器直接相连，有匹配电路。

测试参数：节目频道信息和 BER。

测试指标：USBGUI 界面所反映的节目频道应包括 DAB 广播、视频频道、Irdeto CA 信息和 TDC 通道增值信息；系统信号接收最小灵敏度 $<-95\text{dBm}$ 。

测试方法：客观测试。系统外接调试板，将解调后的 TS 流由调试板上 USB 接口送至 PC。测试时不断调节 TMG2000 发送信号的功率，通过观测 USBGUI 界面上 DMB RS 栏的 BER 值来判断系统接收的最小灵敏度。一般 BER 数值接近 10^{-4} 时图像会出现马赛克，因此系统测试以 BER 小于 10^{-4} 为判决门限。

(1) 测试 1458.096MHz 频点灵敏度。信号发生器参数设置如图 5-7 所示，此时信号输出功率为 -96dBm ，随后在 PC 上通过 USBGUI 解码软件进行频道信息提取，解码后的 TS 流结果分析如图 5-8 所示，此时节目解码正常并能收到视频节目、DAB 广播和 CA 数据信息，且 BER 优于判决门限，说明在此频点系统接收最小灵敏度可达 -96dBm 。

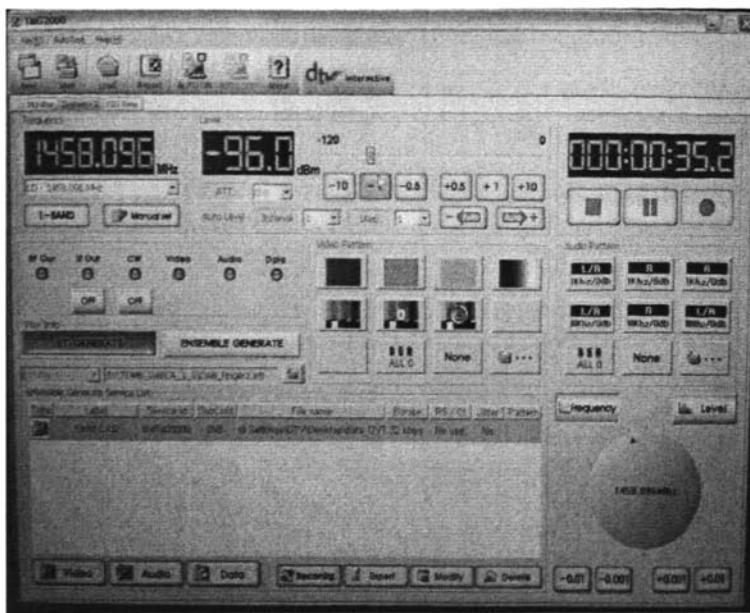


图 5-7 1458.096MHz 信号输出参数设置

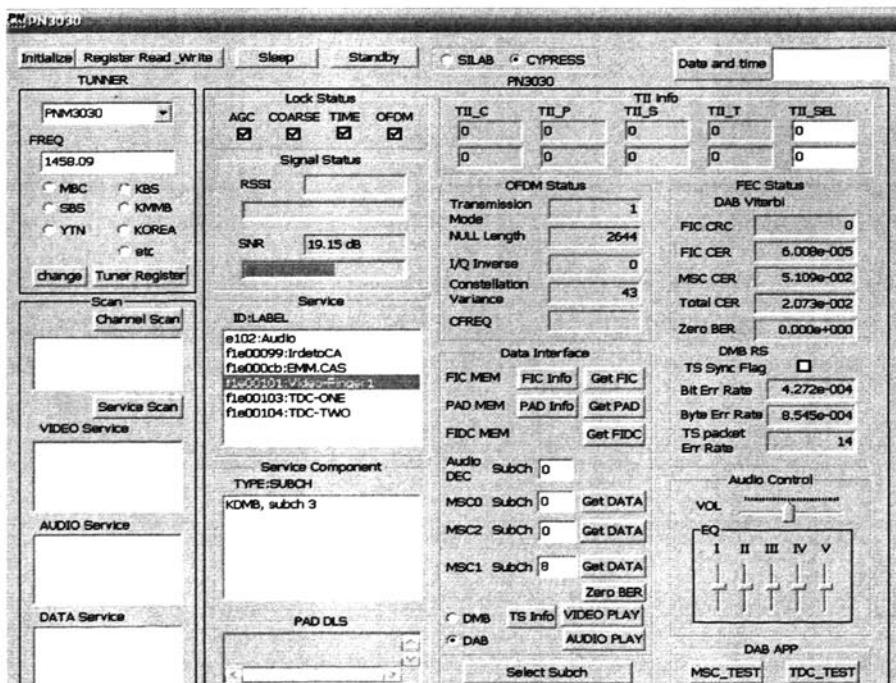


图 5-8 1458.096MHz 频点 TS 解码分析

(2) 测试 1470.080MHz 频点灵敏度。信号发生器参数设置如图 5-9 所示，此时信号输出功率为 -96dBm，随后在 PC 上通过 USBGUI 解码软件进行频道信息提取，解码后的 TS 流结果分析如图 5-10 所示，此时节目解码正常并能收到视频节目、DAB 广播和 CA 数据信息，且 BER 优于判决门限，说明在此频点系统接收最小灵敏度可达 -96dBm。

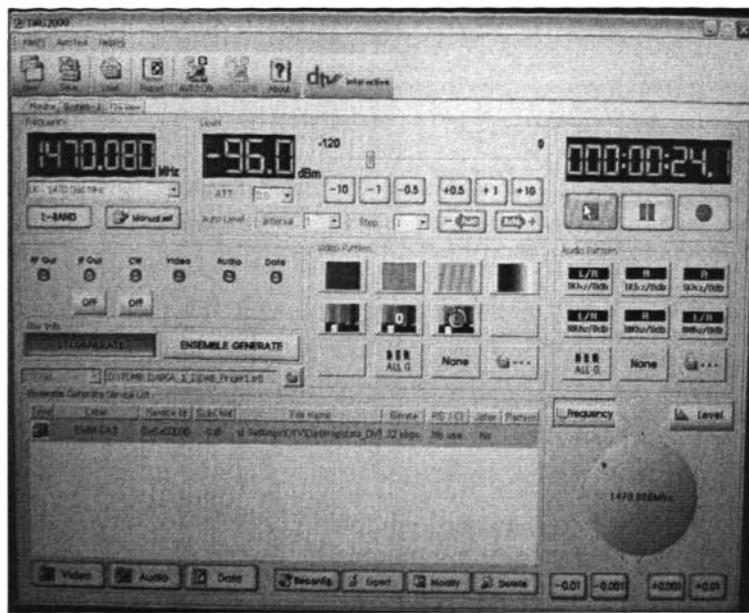


图 5-9 1470.080MHz 信号输出参数设置

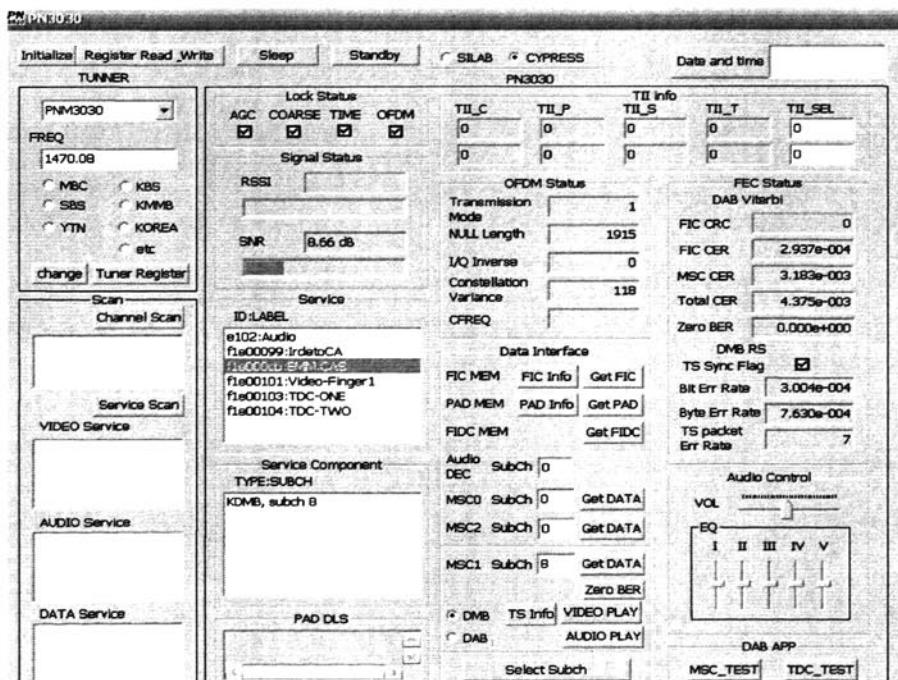


图 5-10 1470.080MHz 频点 TS 解码分析

(3) 测试 175.280MHz 频点灵敏度。信号发生器参数设置如图 5-11 所示，此时信号输出功率为 -95dBm，随后在 PC 上通过 USBGUI 解码软件进行频道信息提取，解码后的 TS 流结果分析如图 5-12 所示，此时节目解码正常并能收到视频节目、DAB 广播和 CA 数据信息，且 BER 优于判决门限，说明在此频点系统接收最小灵敏度可达 -95dBm。

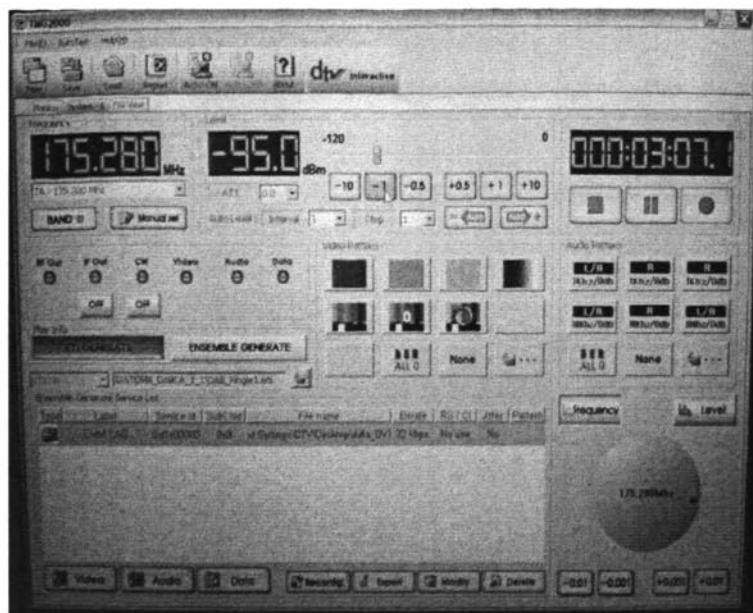


图 5-11 175.280MHz 信号输出参数设置

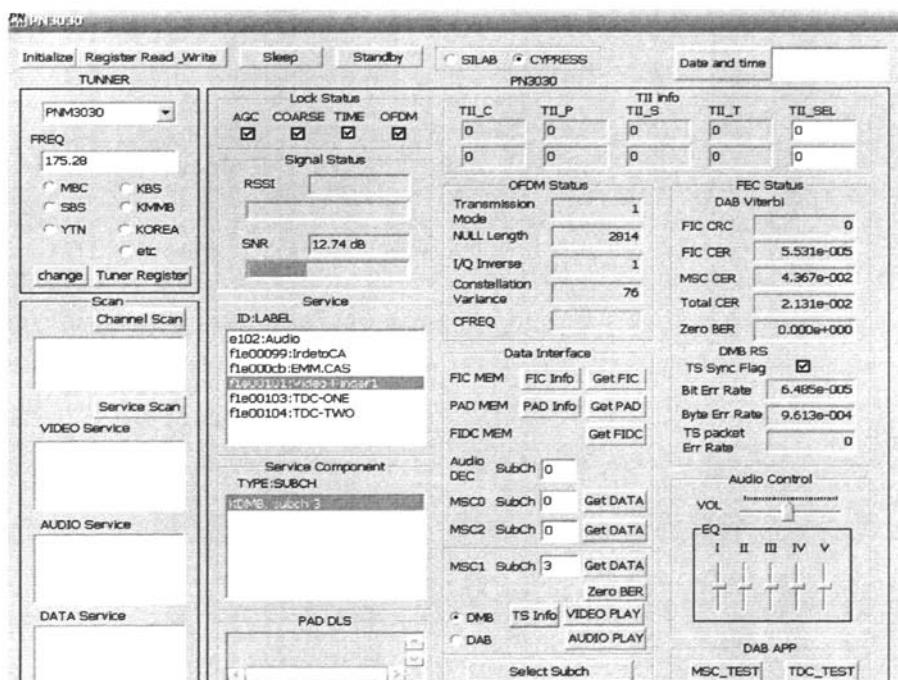


图 5-12 175.280MHz 频点 TS 解码分析

测试结论:通过信号发生器和 TS 解码软件测得系统在 L-BAND 和 BAND-III 频段接收和解析 TS 流性能良好，其中在 1458.096MHz 和 1470.080MHz 最小灵敏度可达-96dBm，在 175.280MHz 最小灵敏度可达-95dBm。

5.2.3 信号接收主观测试

在上海地区可接收 L-BAND 空中广播信号，其中 1458.096MHz 频点上广播的节目为 Irdeo CAS 系统加密后的节目和增值服务信息，而 1470.080MHz 频点上的节目和 DAB 广播则为透明 TS 流可直接解析后播放。系统可通过观看 TFT-LCD 屏来判断频道搜索和节目列表解析是否正确，解码后的画面是否流畅，画面质量是否清晰稳定等。

测试条件：系统加装拉杆天线，有匹配电路，在静止和移动状态下（公交车和地铁上）接收空中广播信号。

测试参数：节目频道列表、画面流畅度、画面清晰度。

测试指标：系统开机搜索后能正确显示频道列表，播放画面流畅无马赛克。

测试方法：主观测试。系统启动后会自动搜索频道，通过查看频道列表来判断系统对 TS 流解析是否正确。当播放所选频道时，通过观看 LCD 屏上节目画面和质量来判断 TS 流解析是否流畅、有无丢包现象发生，如在接收条件较好的情况下出现马赛克，则说明系统在解析时 TS 包有丢失。此外，还需测试系统在静止摆放状态和在公交车、地铁等移动状态下接收和播放节目的性能。

系统按照节目和服务信息总类划分电视、广播、股票、外汇和天气栏，如图 5-13 所示，其中股票、外汇和天气为系统接收的增值服务数据并存放在缓存中，当需查看相关信息时，则系统需要加载相应的数据解析平台。

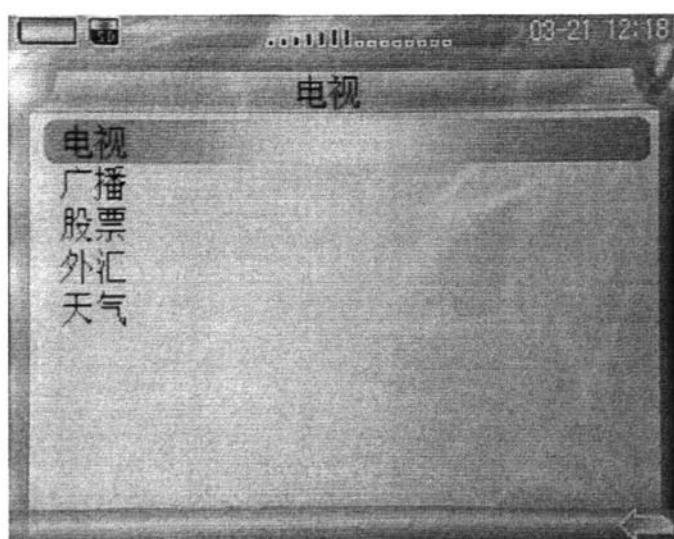


图 5-13 系统节目信息菜单

目前，上海东方明珠电视塔在 1470.080MHz 频点上播放的节目包括 1 套财经新闻、1 套奥运频道节目和 DAB 广播（3 个频道），在 1458.096MHz 频点上播放的节目包括 1 套体育、2 套实时新闻和股票、气象、外汇等咨询增值服务，系统自动搜索画面如图 5-14 所示，节目频道列表如图 5-15、4-6 所示。

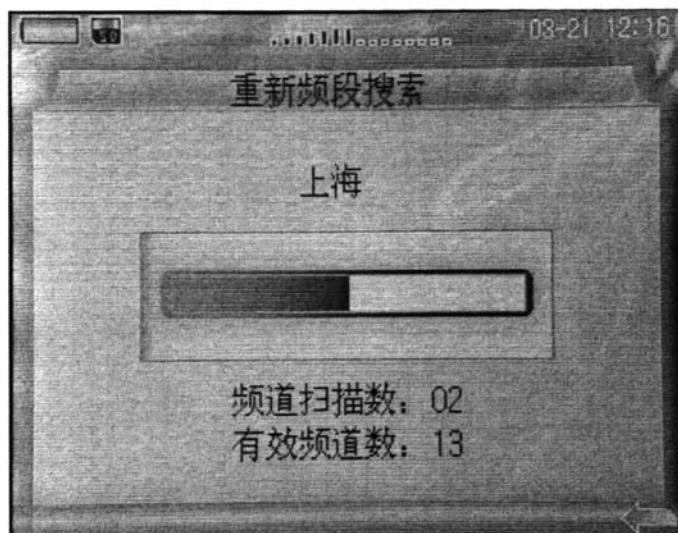


图 5-14 系统频道搜索画面

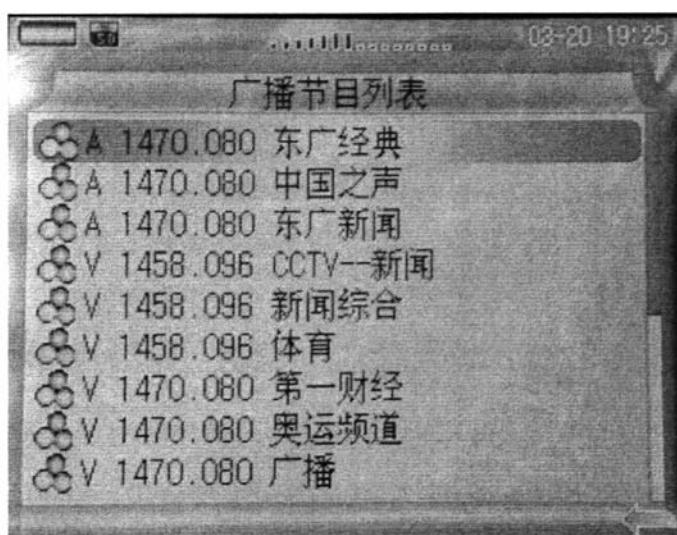


图 5-15 系统节目频道列表

T-DMB 支持的最佳视频格式为 320×240 分辨率 (QVGA)，系统所选 TFT-LCD 也是 QVGA 分辨率，因此在播放电视节目时可直接满屏显示。在实际测试环境中，系统在静止状态和移动状态（公交车和地铁上）均能做到流畅播放且画面清晰，如图 5-16 为 LCD 上所显示的节目画面。



图 5-16 系统播放的节目画面

此外，系统在播放节目时可随时查询运营商 CAS 和 Irdeto 智能卡信息，便于查看 CA 信息的变更和智能卡的固件版本，这些信息可通过按键操作在节目画面上直接显示，如图 5-17 所示。

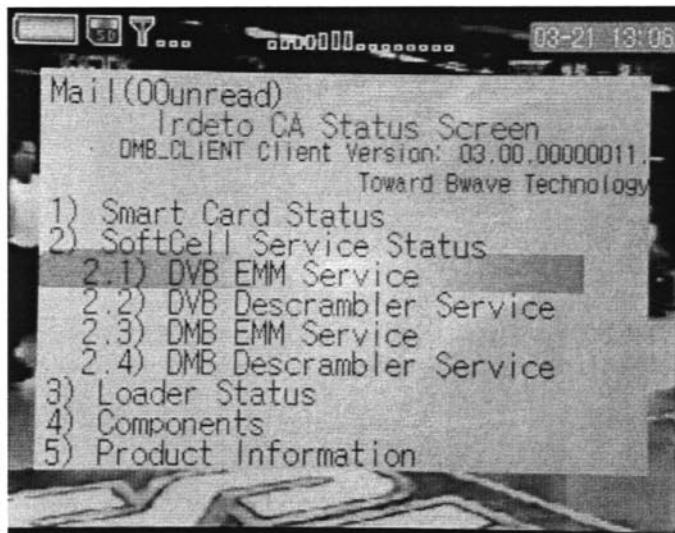


图 5-17 CAS 信息显示菜单

测试结论：系统在接收空中信号情况下，对透明和加密 TS 流均能完全解析，频道搜索完全正确。在静止状态和移动状态（公交车和地铁上）接收时，观测 LCD 节目画面并无马赛克出现，能够流畅地播放音视频节目且性能良好。

5.3 系统性能分析

系统除具备普通多媒体手持设备的功能之外，最重要的功能是实现 T-DMB

广播节目的接收和播放，并在上海地区成功实现了基于 Irdeto CA 系统的加密频道节目和增值服务信息的接收。

在系统实际测试中，初步校准了系统前端天线的匹配网络，使得天线的驻波比、增益和效率均达标。在随后的客观测试和主观测试中，通过信号发生器测试数据显示，播放器在主要接收频点的最小灵敏度优于-95dBm；通过主观观测，播放器在静止和移动状态下（公交车和地铁上）播放节目均比较流畅、画质较清晰，并且在反复开关机 1000 次的疲劳测试下，并无死机或频道搜索失败等现象发生，说明系统在对 T-DMB 频道节目接收和播放取得了成功。

此外，系统在对 T-DMB 信号接收与播放中尚存在待改进之处：系统的前端接收模块灵敏度还可提高；LCD 屏的尺寸和分辨率略显不足；以及系统缺少视频输出的模块，这几点需要在系统硬件升级中改进。

第 6 章 总结与展望

本章整体上回顾和总结了所设计的 T-DMB 播放器的研究工作，并且对今后的研究方向进行了展望。

6.1 论文工作总结

随着地面移动数字电视广播体系的不断完善和数字电视市场的快速发展，移动数字电视终端的开发和应用，势必成为未来多媒体手持设备的发展方向。

下面从以下几点来概括本文的主要研究工作：

(1) 本文所设计的移动数字电视接收终端方案是基于目前国内北京、上海和广东地区已开通 T-DMB 广播的背景下展开研究的，为了满足在各地区应用的需要，系统同时支持 L-BAND 和 BAND-III 全波段的信号接收。由于各地区运营商所采取的加密设备不同，目前系统仅支持在上海地区接收加数字电视节目和增值服务，在北京和广东地区只能接收透明数字电视节目和 DAB 广播，但系统也预留了支持这两个地区 CAS 设备的智能卡。

(2) 本文首先介绍了 T-DMB 标准的发展背景和应用状况，研究了 T-DMB 传输系统的协议框架和关键技术，重点阐明了 T-DMB 传输系统中各数据的类型、传输方式和打包流程，并结合上海地区 CAS 系统的应用剖析了节目和业务信息加/解扰、加/解密的基本原理。

(3) 本文其次详细论述了系统的硬件平台设计，这也是本文的主要研究工作。平台分为 RF 前端和基带后端两部分电路，重点介绍了当前 T-DMB 主流 RF 芯片的特性，及详述了基带处理器 SH7363 的整体功能架构，并对 TS 解码、智能卡工作原理和其他功能电路的组成用框图做了详细说明。

(4) 本文随后对解码软件的关键模块做了分析，说明了系统驱动开发流程和所用操作系统的总体功能，解析了 Irdeto CA 系统的加密协议与智能卡的解密模块架构与底层驱动接口，提出了对包含 MPEG-4 数据的 TS 流全频道解码流程。

(5) 本文最后对系统的 T-DMB 信号接收和节目播放功能做了测试，测试中涉及到天线的选用和匹配网络的调整、信号接收灵敏度的测试、频道节目的搜索、节目播放的流畅度和质量检测，并对系统的节目接收和播放性能做了分析。

6.2 未来研究工作的展望

虽然本系统实现了对 T-DMB 节目的接收和播放，但作为数字电视的接收设备还不是很理想，主要缺陷有两个：首先，系统的最小接收灵敏度(-96dBm)距 RF 模块信号接收下限 (-100dBm) 还有差距，可重新设计前端接收评估板来研究提高系统接收性能的方案；其次，系统所选电阻式触摸屏的色素只有 65K、尺寸只有 3.2 寸，未能完全展现出数字电视节目的优势。其实，系统的基带处理器 SH7363 能支持更高性能的触摸屏，比如选用 16.7M 色素、3.5 寸大小、QVGA 分辨率的 TFT-LCD，提高播放画面的质量和观赏性。

在功能应用方面，系统的待机时间还可进一步提高，目前播放器完全工作下的持续时间大约为 5 小时，在降低功耗方面还可以作改善。此外，系统还可增加 NTSC/PAL 视频功放、蓝牙（BC4.0）和 WiFi 的功能，便于实现视频输出、无线传输和因特网接入，以增强系统功能的多样性。

不久的将来，中国地面移动数字电视广播标准也会最终确定并正式推广，由此带来的移动数字电视相关业务和市场需求也必将引起国标移动数字电视终端的开发热潮，这也为本设计方案提供了新的研究思路。

参考文献

- [1] 范浩明. 浅析手机电视[J]. 中国新通信, 2006(17):56-62.
- [2] 何晓华. 手机电视实现方式与标准的发展[J]. 中国有线电视, 2006(3):2280-2283.
- [3] 李柱石, 王建雄. DMB 技术应用与推广[J]. 中国传媒科技, 2001(11): 61-64.
- [4] 蔚志根. 解析数字电视的标准[J]. 科技情报开发与经济, 2005(15): 142-144.
- [5] 王力. 关于手机电视与移动流媒体的现状与发展[J]. 数字电视, 2006(1):51-53.
- [6] Ikeda, T. Transmission system for ISDB-T/sub SB/ (digital terrestrial sound broadcasting) [J], Proceeding of IEEE, 2004(94):257-260.
- [7] 蒋佳, 葛建华, 袁敏. DMB-T与国际数字电视三大标准浅析[J]. 中国新通信, 2006(19):14-17.
- [8] 黄海镇, 王军, 潘长勇. DMB-T 数字信号软件测量系统[J]. 电视技术, 2006(8):16-18.
- [9] 王军, 阳辉. DMB-T 第二代信道接收专用芯片的设计与实现[J]. 电视技术, 2006(3):31-33.
- [10] 雷海军, 刘鲲, 张长水, 彭吉虎. DMB-T 数字电视接收系统的研制[J]. 电视技术, 2005(10):48-50.
- [11] 郑晓琴. DMB-T 系统中 TDS-OFDM 的研究[硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2006.
- [12] 李子龙. 数字多媒体广播(DMB) [J]. 山西电子技术, 2006(3):84-85.
- [13] 林定祥. 上海 DMB 手机电视发展研究[J]. 上海信息化, 2006(5):74-75.
- [14] 陈志国, 姚瑞虹. 地面数字多媒体广播(T-DMB)标准与应用[J]. 广播与电视技术, 2006(4):40-48.
- [15] 秦娟, 王彤, 吴剑东. T-DMB 技术及其应用[J]. 电视工程, 2006(2):12-14.
- [16] 窦中兆, 关建明, 丁建平. T-DMB 网络规划方法研究[J]. 数字电视与数字视频, 2007,31(2):17-19,31.
- [17] 李栋. 数字声音广播[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [18] 高峰, 康亚男. 数字音频广播与数字高清晰度电视[M]. 北京: 中国广播电视台出版社, 2003.
- [19] ETSI EN 300 401 v1.3.3, Radio Broadcasting System: Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers[S]. May 2001.
- [20] ETSI TS 102 428 V1.1.1, Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB video service; User Application Specification[S]. 2005.

- [21] T-DMB terrestrial DMB, Ready to Go [EB/OL]. [2006- 03- 15].
<http://www.worlddab.org/images/IBCPressconference- Perstel.pdf>.
- [22] ISO/IEC 13818-6, Information technology-Genetic coding for moving pictures and associated audio information-Part 6: Extension for Digital Storage Media Command and Control (DSM-CC)-International Standard(IS):130-256.
- [23] S. W. Kim, S. H. Park, and Y. B. Kim. Fine grain scalability in MPEG-4 audio[A]. The 111th Audio Eengineering Society Convention[C]. September 2001.
- [24] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjontegaard, and Ajay Luthra. Overview of the H.264/AVC video coding standard[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(7):560–576.
- [25] Seung-Gi Chang, Victor H. S. Ha, Zhi-Ming Zhang, and Yong-Je Kim. Performance evaluation of Eureka-147 with RS(204,188) code for mobile multimedia broadcasting[J]. SPIE's Visual Communications and Image Processing, 2003:934–940.
- [26] Seung-Gi Chang, Ga-Hyun Ryu, Victor H. S. Ha, and Yong-Je Kim. Standardization and implementation of DMB (Digital Multimedia Broadcasting) system in Korea[J]. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communiations, 2003(2):933–936.
- [27] Y. Wu, E. Pliszka, B. Caron, P. Bouchard, and G. Chouinard. Comparision of terrestrial DTV transmission system: the ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM and the ISDB-T BST-OFDM[J], IEEE Trans. Broadcasting, 2000, 46(2):101-113.
- [28] M. Speth, S. Fechtel, G. Fock, and H. Meyr. Optimum receiver design for OFDM-based broadband transmission Part II: A case study[J]. IEEE Trans. on Communications, 2001, 49(4):571-578.
- [29] 岑斌. T-DMB 手机电视接收终端探讨[J]. 信息终端, 2006(5):33-36.
- [30] In-Gab Hwang , Jae-Gil Han, Yong-Hoon Cho, Jeong-Hun Choi. Development of a Integrated RF Module for the Terrestrial and the Satellite DMB (Digital Multimedia Broadcasting) Services[J]. IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing - Vol 2 - Workshops, 2006:243-246.
- [31] Gwangsoon Lee, Sammo Cho, Kyu-Tae Yang , Young Kwon Hahm, and Soo In Lee. Development of Terrestrial DMB Transmission System based on Eureka-147 DAB System[J]. IEEE Trans. Consumer Electronics, 2005, 51(1):63-68.
- [32] 吴斯奇, 王兴军. T-DMB 前端接收芯片的现状与分析[J]. 电路与应用, 2007, 31 (2):23-25.
- [33] SH-Mobile UL specification[EB/OL]. [2007-09].
http://www.renesas.com/fmwk.jsp?cnt=sh_mobile_ul.jsp&fp=/products/mpumcu/sh_mobile/sh_mobile_ul.

- [34] 孙耀, 戴懿贺. 手机电视 T-DMB 在 L 波段的覆盖研究[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11):1501-1505.
- [35] 章丽君, 姜俊. 上海 L 波段 DMB 传输模式研究与分析[A]. 国际有线电视技术研讨会论文集[C], 2007.
- [36] Ha, V.H.S., Sung-Kyu Choi, Jong-Gu Jeon, Geon-Hyoung Lee, Woo-Sung Shim. Portable receivers for digital multimedia broadcasting[J]. IEEE Trans. Consumer Electronics, 2004, 50(2):666-673.
- [37] 张良胜, 蒋建中, 陈金阳, 郭军利.MPEG 视频加密算法浅析[J]. 中国有线电视, 2005(2): 138-142.
- [38] 窦中兆, 吴迪, 关建明.T-DMB 条件接收系统带宽开销研究[J]. 广播与电视技术, 2006(5):112-113.
- [39] 廉士国, 孙金生, 王执铨.几种典型视频加密算法的性能评价[J]. 电子工程师, 2004(4): 483-490.
- [40] The future of mobile content security[EB/OL]. [2006-12].
<http://www.irdeto.com/files/Mobile.pdf>.

致 谢

三年的硕士学习生活教会了我很多，使我受益匪浅，终身难以忘怀。

在此谨对所有关心、帮助和指导过我的亲人、老师、同学和朋友们致以诚挚的感谢和问候。

衷心感谢我的导师聂明新副教授，在我学习期间给予了诸多关怀、悉心指导和大力支持。聂明新老师严谨的治学理念、渊博的知识领域和勤奋的工作态度必将影响我一生的学习、工作和生活。感谢聂老师为我创造的良好的学习条件和许多的锻炼机会，并在其它方面给了我亲切关怀，在硕士学业即将完成之际，谨向聂老师表示最衷心的感谢和祝福。

感谢通信技术研究所的陈伟教授和黄秋元老师，谢谢他们对我实习和生活的巨大帮助，在我学习、工作和为人上给予了众多难能可贵的点拨和教导，我将永记于心。

感谢上海明波通信技术有限公司的栗原东彦部长和王福堂总监，正是他们的谆谆教导使我增长了丰富的社会经验和实践经验，使我懂得了比技术和经验更重要的东西在于团队合作的能力、工程师所必须具备的素质、如何思考解决问题的办法和面对压力克服困难的勇气。

感谢在明波通信实习期间陆永健工程师、刘巍师兄、吴丽娜师姐对我的支持和帮助，能有此文与他们的辛勤工作是息息相关的。

感谢实验室的同学们在读研期间对我的鼓励和帮助，实验室轻松愉快的学习氛围和相互之间的团结协作我将永远怀念。

最后，深深感谢我的父母，我成长的每一步都离不开他们的关心、支持与鼓励，他们是我学习和前进的动力。

攻读硕士期间发表的论文

- [I] 熊欣. 基于 MATLAB 的 FIR 数字滤波器设计. 《中国科技论文在线》, 2006 年 5 月 8 日发表
- [II] 聂明新, 熊欣, 王福堂. 基于 SH-MobileL3V 的 DMB 播放器设计. 武汉理工大学学报 (信息与管理工程版) [J], 2007(12): 111~114