

华中科技大学

硬件课程设计实验报告

课 题：“EasyReader”电子书阅读器系统

班 级：通信 0903

作 者：曾 庆 台 阳 舒梦雨

学 号：U200913846 U200913859 U200913849

指导老师：曾喻江

课设评价：

课设成绩：

日 期：2012-7-2

摘要

“EasyReader”系统是一个多功能电子书阅读器，以 TI 公司的 MSP430F149 作为系统硬件核心，以 DM430-L 为硬件开发平台，以 VS1003 作为音频解码核心芯片，以 IAR Embedded Workbench for MSP430 v5.30 作为系统软件开发平台，使用 MSP430 自带操作系统，以 C 语言为基本编程语言。本系统具备低功耗、小体积、轻重量、功能齐全的特点，可手动或自动翻页翻行、选择不同字体大小和背景、显示系统运行时间和文档读取进度、手动切换播放背景音乐、查看文档信息等功能。使用便捷，可为用户提供良好的阅读体验。

本文讨论了“EasyReader”电子书阅读器的研究与设计，研究的主要内容包括系统硬件平台的设计和基于该硬件平台的软件设计。在硬件设计方面，进行了系统的功能需求分析、方案选择和总体设计，详细设计了以 MSP430F149 处理器为核心，外围包括 SD 卡文件读取模块、VS1003 音频解码播放模块和串口通信功能、人机交互功能的嵌入式系统硬件平台。在软件设计方面，以分层分模块的思想进行设计，设计了 FAT32 文件系统、SD 卡和 TFT 液晶驱动和显示程序、VS1003 音乐播放程序、中断服务程序等，并进行了系统测试和结果分析，良好地实现了系统的设计目标。

关键词： 电子书阅读器；MSP430F149；SD 卡；FAT32 文件系统；VS1003

Abstract

“EasyReader” system is a multi-functional e-book reader. It uses MSP430F149 of TI corporation as the hardware core, DM430-L as hardware developing platform, VS1003 as decoding central chip for audio file, IAR Embedded Workbench for MSP430 v5.30 as software developing platform of our system. We take the advantage of the OS in MSP430 chip itself and program with basic C language. Our system has the characteristic of low consumption, little size, light weight and versatile functions. The user can switch pages and lines by manual operation or automatic mode, choose different size of font and background, show the runtime of system and the rate of reading progress, choose manually to play the background music or not, check the information of text documents, and the like. It is convenient and easy to use, and provides the users with great reading experience.

This paper discussed the research and design of “EasyReader” e-book reader. The main content of our research includes the design of hardware platform and the software design based on the hardware. In the designing of hardware, we analyzed the requirements of functions, put forward how to choose the final scheme and overall design. We also has made a detailed design of the embedded system hardware platform, that consists of the core MCU of MSP430F149, the peripheral modules of reading from SD card, VS1003 audio decoding, communication using serial port and human-computer interface. In the design of software, we utilized hierarchical and module-based thought to carry out our design. We designed FAT32 file system, SD card driven orders, TFT driven and display orders, VS1003 audio play orders and interrupt service programs. Through the tests, debug and analyses of the system, we eventually achieved the goal of our design.

Key Words: E-book reader; MSP430F149; SD card; FAT32; VS1003

目 录

1	项目概述.....	5
2	设计目标.....	5
2.1	基本功能.....	5
2.2	扩展功能.....	5
3	小组成员和任务分工.....	6
4	系统总体设计.....	6
4.1	总体设计思路.....	6
4.2	主要器件选择.....	7
5	系统硬件设计与实现.....	10
5.1	DM430-L 开发板	10
5.2	音频解码模块设计	13
5.3	TFT 液晶显示模块	14
5.4	SD 卡模块	15
5.5	按键电路.....	16
6	系统软件设计与实现.....	16
6.1	软件设计的主要思想.....	16
6.2	软件设计平台（IAR Embedded Workbench IDE）	16
6.3	文件系统的选择与实现.....	17
6.4	SD 卡模块软件设计	18
6.5	TFT 液晶显示模块软件设计	19
6.6	音频模块软件设计.....	23
6.7	按键模块.....	24
6.8	软件流程说明.....	25
7	系统测试与结果分析.....	26
7.1	调试故障、产生原因及解决方法.....	26
7.2	测试方案与结果.....	29
7.2.1	测试方案.....	30
7.2.2	测试结果.....	30
8	心得体会与项目总结.....	31
1)	心得体会与总结.....	31
2)	项目展望.....	33
9	致谢.....	34
10	参考文献.....	34
11	附录.....	35
1)	宣传网站.....	35
2)	程序代码列表说明.....	35

1 项目概述

电子书阅读器是一种便携式的手持式电子设备，专为阅读图书设计，它有大屏幕的液晶显示器，可以直接从互联网上方便的购买及下载数字化的图书，并且有大容量的内存以存储大量数字信息，一次可以存储数十本传统图书的信息，特别设计的液晶显示技术可以让人舒适的长时间阅读图书。

我们的作品名为“EasyReader”电子书阅读器，出发点就是要设计一款方便操作而且使用舒适的电子书阅读器，让人们爱上阅读，随时随地都可以阅读。本作品以 TI 公司的 MSP430F149 为主控芯片，加以外围一些扩展芯片，共同实现所有功能。

2 设计目标

2.1 基本功能

- 1) 从 SD 卡上读取文本文档（包括中英文），并在 TFT 液晶屏上显示
- 2) 控制 TFT 显示字体的大小及字体与液晶屏背景颜色
- 3) 通过按键实现手动翻页与自动翻页的模式转换
- 4) 自动翻页模式下通过按键改变翻页的速度
- 5) 手动翻页模式下实现快速翻页

2.2 扩展功能

- 1) 通过 TFT 显示阅读时间，提醒用户注意休息，保护视力
- 2) 通过 TFT 动态显示阅读进度
- 3) 通过 TFT 显示当前阅读文件的文件名
- 4) 多首背景音乐的循环播放，可以通过按键实现音量的控制与歌曲的选择
- 5) 单词与分段处理（单词换行时以短线连接）

3 小组成员和任务分工

小组成员：

曾庆（组长） 通信 0903 班 U200913846

舒梦雨 通信 0903 班 U200913849

台 阳 通信 0903 班 U200913859

项目任务		小组成员		
		曾庆（组长）	舒梦雨	台阳
查找资料		√	√	√
购买器件		√	√	
周报整理		√	√	√
系统方案设计		√	√	√
硬件模块设计	SD 卡	√		
	音频解码方案设计		√	
	按键电路	√	√	
	TFT 液晶显示	√		√
软件模块设计	文件系统	√		
	SD 卡	√		
	TFT 液晶显示		√	√
	按键中断	√	√	
	音频模块			√
系统测试		√	√	√
项目总结报告		√	√	√
答辩 PPT 制作			√	√
视频录制		√	√	√
宣传网站制作与更新				√

表 1 小组任务分工表

4 系统总体设计

4.1 总体设计思路

系统围绕 MSP430F149 作为核心控制器，并基于 DM430-L 开发板实现主要功能。首先从 SD 卡中读出文本文档至缓存，由处理器处理并在 TFT 液晶屏上显示出来。利用 VS1003 扩展接口进行音频解码，实现背景音乐的播放。并通过定时器和按键中断控制时间显示，翻页等功能。使用 MSP430 自带操作系统，以 C 语言为主要编程语言。

MSP430F14X 单片机是美国 TI 公司的 MSP430X1XX 系列的 MCU,它是

设计成合适各种应用的 16 位结构。它采用“冯诺伊曼结构”，因此 RAM、ROM 和全部外围模块都位于同一个地址空间内。而且具有超低功耗性能，同其他微控制器相比，MSP430 系列可以大大延长电池的使用寿命，这对手持设备、及一些要求低功耗电子产品中是非常重要的。而且它还具有灵活、强大的处理能力、丰富的存储器、外设等优点。

整体系统框图如下图所示，系统在硬件上主要可以分为 MSP430F149 单片机最小系统，VS1003 音频解码模块、SD 卡读写模块、液晶显示模块以及用来存储程序的 FLASH 存储器等模块。由系统框图可以看出项目硬件部分相对比较简单，主要难点在于程序的设计。

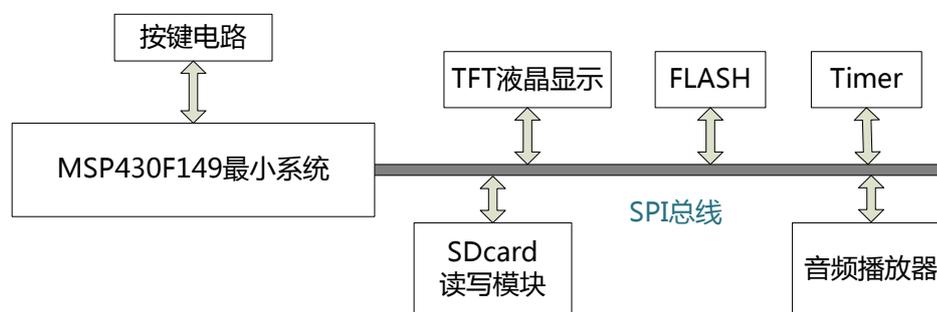


图 1 系统总体设计框图

如上图所示，模块设计及主要功能如下：

处理器模块——从 SD card 读取数据，并将数据提供给显示接口，最终利用显示模块显示到相应的显示器上，同时控制 VS1003 的音乐播放。

定时器模块 —— 进行阅读时间计时，并提供翻页间隔时间。

时钟模块 —— 为处理器等提供时钟，激励整个电路有节奏的工作。

存储器模块（flash）—— 存储一些所需要的临时数据及控制程序。

显示模块（TFT）—— 包含显示接口，显示屏幕，以及对应的驱动。

SD 卡模块 —— 建立文件系统，存储需要读写的文件，播放的音乐，字库等。

音频模块 —— 利用解码芯片和 DA 放大电路播放 MP3/WAV/WMA 格式等音乐。

按键模块 —— 通过按键中断主要实现对音频模块和 TFT 显示的控制。

4.2 主要器件选择

本作品中我们主要使用了 DM430-L 开发板，MSP430F149 芯片，VS1003

解码芯片，TFT 液晶屏，SD 卡，按键板。

1)DM430-L 开发板

DM430-L 是一款具有高性价比的 MSP430 单片机最小系统板，板载 USB 型 BSL 下载器，使用非常简单方便，所有的 IO 端口都用插针引出，并标注管脚号，扩展方便，同时板载了 RS232 通信模块、RS485 通信模块、12864 液晶接口以及 1602 液晶接口，同时支持了 JTAG 调试，2X7 座兼容官方标准，可以匹配市场上的各种 JTAG 仿真器，板载的 BSL 下载器可以通过杜邦线对其他开发板进行程序下载，另外，板载的 BSL 模块可以作为独立的 USB 接口转串口使用，解决笔记本电脑没有串口的问题或可以作为 STC 单片机下载器。DM430-L 资源分布如下图所示。

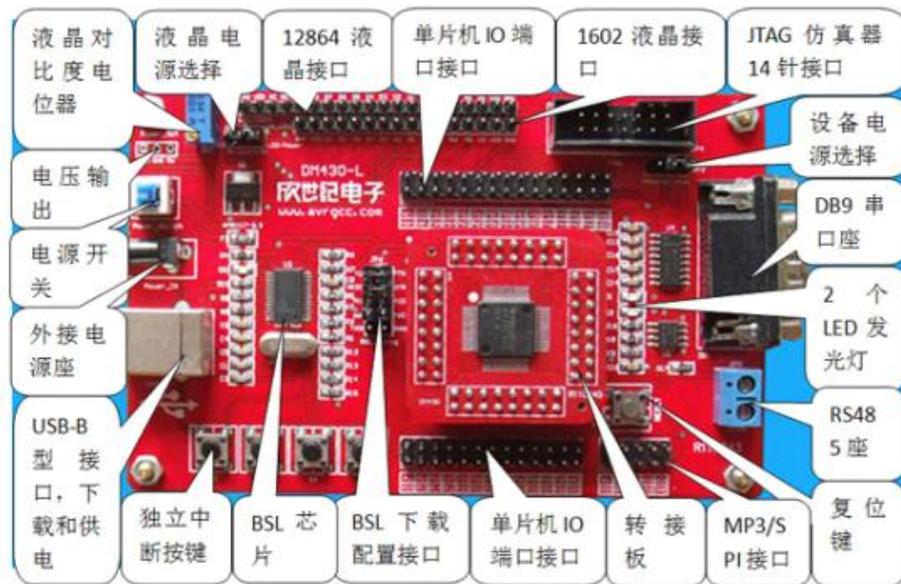


图 2 DM430-L 资源分布图

系统板采用地板和核心转接板相结合的形式，可以方便的进行芯片的更换，核心芯片 MSP430F149。DM430-L 作为最小系统板，最主要的作用是给用户提供一个可扩展的核心系统，并没有板载许多额外的模块，用户可以根据需要自行扩展。例如用杜邦线扩展 MP3 模块、SD 模块、GPS 模块等等。

DM430-L 系统板核心芯片采用 MSP430F149，支持 3.3V 供电，为了提高兼容性，系统板支持 USB 供电或者外部电源供电，通过板载的 AMS1117-3.3 芯片为核心单片机提供 3.3V 电源。为兼容 5V 系统，系统板提供了 3.3V 电压和 5V 电压输出点，位于系统板左上角处，为兼容更多的液晶

型号，对 12864 液晶和 1602 液晶电压设置了选择开关，通过跳线帽设置“LCD-Power” 3.3V 或者 5V 电压，如果用户的液晶模块是 3.3V，则选择 3.3 与 VLCD 相连，如果用户液晶是 5V，则选择 5V 与 VLCD 相连。

2)MSP430F149

MSP430 系列单片机是美国德州仪器(TI)1996 年开始推向市场的一种 16 位总线的带 FLASH 的超低功耗的混合信号处理器(Mixed Signal Processor)，称之为混合信号处理器，主要是由于针对实际应用需求，把许多模拟电路、数字电路和微处理器集成在一个芯片上，以提供“单片”解决方案。

MSP430 使用精简指令集 (RISC) 结构，性价比和集成度高，采用“冯诺依曼结构”，外设和内存统一编址，寻址范围可达 64K，还可以外扩展存储器，具有统一的中断管理，丰富的具有丰富的片上外围模块，片内有精密硬件乘法器、两个 16 位定时器、一个 14 路的 12 位的模数转换器、一个看门狗、6 路 P 口、两路 USART 通信端口、一个比较器、一个 DCO 内部振荡器和两个外部时钟,支持 8M 的时钟。由于为 FLASH 型，则可以在线对单片机进行调试和下载,且 JTAG 口直接和 FET(FLASH EMULATION TOOL)的相连，不须另外的仿真工具，方便实用，而且可以在超低功耗模式下工作，对环境和人体的辐射小，测量结果为 100mw 左右的功耗(电流为 14mA 左右)，可靠性能好，加强电干扰运行不受影响，适应工业级的运行环境，适合于一些电池供电的低功耗产品，如手持式设备、智能传感器、能量表，以及需要较高运算性能的智能仪器设备和自动控制的设备。

MSP430X14X 系列内置两个 16 位定时器，一个快速的 12 位 A/D 转换，一个或两个通用串行同步/异步通信接口的微控制器配置器 (USART)，48 个 I/O 引脚，60KB 的 FLASH 和 2KB 的 RAM，丰富的中断资源。

MSP430 有自身的操作系统，就不需要在单片机上自己搭建操作系统。可以使用 IAR 软件开发平台使用 C 语言进行程序设计，方便简单。

综合考虑性价比和芯片性能，我们选择了 MSP430F149 为主控芯片，因为它具有的特性符合我们要设计的电子书阅读器的要求。

3)VS1003 解码芯片

VS1003 是由芬兰 VLSI 公司出品的一款单芯片的 MP3/WMA 音频解码

芯片,其拥有一个高性能低功耗的 DSP 处理器核 VS_DSP, 5K 的指令 RAM, 0.5K 的数据 RAM, 串行的控制和数据输入接口, 4 个通用 IO 口, 一个 UART 口, 同时片内带有一个可变采样率的 ADC、一个立体声 DAC 以及音频耳机放大器。

4) TFT 液晶屏

主流的液晶屏显示有 12864、1602、TFT, 12864 液晶显示模块是分辨率为 128×64 的液晶显示屏, 有自带中文字库, 但它是 LED 背光的 LCD, 阅读体验不够好。我们选择分辨率为 320×240 的 TFT, 以有源矩阵晶体管为驱动方式, 提供较佳的聚焦特性, 相比 12864 和 1602 的优点是没有画图几何图形的失真及收敛性的误差, 不会有闪烁现象发生, 还可以显示彩色像素。但是 TFT 没有自带字库, 我们在程序中建立了 ASCII 码符号的数组, 对中文则在 SD 卡中装载了字库。

5) SD 卡

SD 卡在现在的日常生活与工作中使用非常广泛, 时下已经成为最为通用的数据存储卡。在诸如 MP3、数码相机等设备上也都采用 SD 卡作为其他存储设备。SD 卡之所以得到如此广泛的使用, 是因为它价格低廉、存储容量大、使用方便、通用性与安全性强等优点。既然它有着这么多优点, 那么如果将它加入到单片机应用开发系统中来, 将使系统变得更加出色。

SD 卡主要支持两种总线方式: SD 方式与 SPI 方式。其中 SD 方式采用 6 线制, 使用 CLK、CMD、DAT0~DAT3 进行数据通信。而 SPI 方式采用 4 线制, 使用 CS、CLK、DataIn、DataOut 进行数据通信。SD 方式时的数据传输速度与 SPI 方式要快, 采用单片机对 SD 卡进行读写时一般都采用 SPI 模式。采用不同的初始化方式可以使 SD 卡工作于 SD 方式或 SPI 方式。

6) 按键板

4×4 矩阵按键板的键值是通过行列扫描判断实现的。

5 系统硬件设计与实现

5.1 DM430-L 开发板

1) 电源设计

开发板为用户使用仿真器设备提供了几种电源配置方式：使用不带供电功能的并口 FET 仿真器、使用自带供电功能的并口 FET 仿真器、使用带电源输出的 USB 仿真器、不使用仿真器而只使用 BSL。

我们使用 PC 机和开发板交叉开发，而且 TFT 液晶显示器对电源稳定性要求比较高（阅读电子书时不能出现闪屏这样用户体验不好的现象），所以选用使用带电源输出的 USB 仿真器模式。这种模式中又分两种情况。

第一，一般来讲，USB 仿真器具有向目标板供电的功能，如果希望仿真器向目标板供电，则目标板不要再使用 USB 线或者外部电源单独供电，同时设置 JP2 跳线帽 VCC 与 Vtool 相连。

第二，如果使用 USB 线或外部电源供电单独供电，则 VCC 与 Vtarget 相连，也就是仿真器和目标板各自独立供电。在系统开发初级阶段，还不需要考虑 TFT 液晶屏供电不足“闪屏”情况时，使用 USB 线供电。在系统开发完成、可以交付用户使用，必须要考虑用户体验问题，使用 VCC 3.3V 直流电源供电，使显示屏稳定显示。

2) 液晶接口设计

开发板上预置了 12864 和 1602 液晶接口，我们要使用的 TFT 液晶显示屏使用 12864 液晶接口，在程序中定义引脚端口，其液晶接口原理图和端口资源分配如下图。

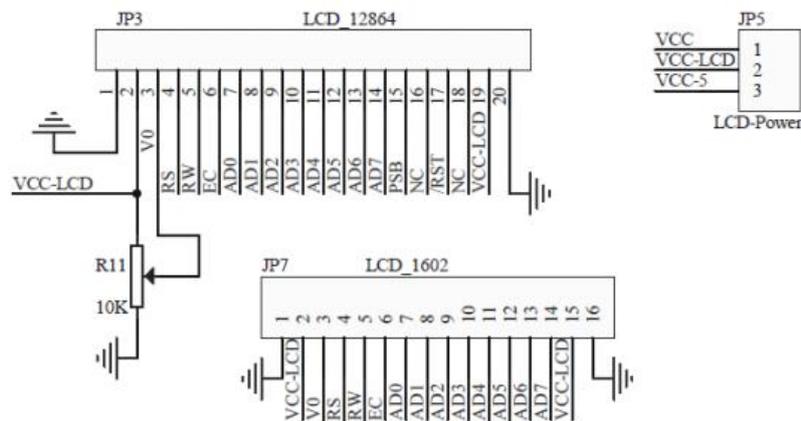


图 3 液晶接口原理图

功能	RS	RW	EC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	PSB	RST
端口	P55	P56	P57	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P50	P51

图 4 液晶模块端口资源分配图

3) VS1003 接口

开发板单独引出了一组接口用于扩展 VS1003 模块，我们使用杜邦线进行连接，该部分接口的管脚功能如下。

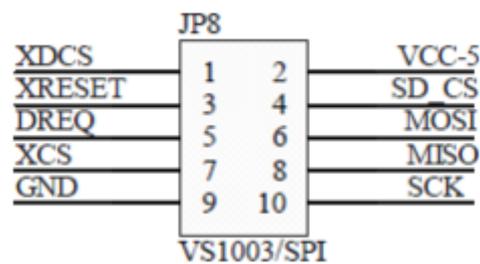


图 5 VS1003 接口管脚定义

功能	XDCS	XRESET	SD_CS	DREQ	MOSI	XCS	MISO	SCK
IO 口	P27	P26	P30	P25	P31	P24	P32	P33

图 6 VS1003 端口资源分配

4)MSP430F149 单片机最小系统

MSP430F149 最小系统是本系统整体设计中的最核心部分，它控制着整个系统的各个子模块直接的协调运行。MSP430F149 最小系统主要由基本时钟系统、中断服务和实现人机交互的按键输入几个主要部分组成，外围电路包括音频解码。由于 MSP430F149 的工作电压是 3.3V，该电压同样适用于音频模块 VS1003 的工作电压。

a) 基本时钟系统

F149 基本时钟模块包括三个时钟输入源，DCOCLK 是 F149 内部提供的时钟，所以在最小系统中，只要设计 LFXT1CLK、XT2CLK 两个外围电路即可。在主体功能中我们使用 XT2CLK（8MHz）作为系统时钟，在时间显示功能中我们使用 LFXT1CLK 低频模式作为系统运行时间中断。

- LFXT1CLK

默认工作在低频模式（32.768KHz）下

- XT2CLK
可选的高频振荡器，可工作在 450KHz-8MHz 下
- DCOCLK
内部数控 RC 振荡器
本系统中需要使用 3 个时钟信号：
- ACLK 辅助时钟
ACLK 由 LFXT1CLK 时钟源经 1、2、4、8 分频得到
- MCLK 主系统时钟
MCLK 由软件选择，来自 LFXT1CLK、XT2CLK、DCOCLK 三者之一，
然后经 1、2、4、8 分频；
MCLK 通常用于 CPU 运行，程序的执行和其他使用到高速时钟的模块。
- SMCLK 子系统时钟
SMCLK 可由软件选择来自 XT2CLK 或 DCOCLK，然后经 1、2、4、8
分频。

SMCLK 通常用于高速外围模块。

在本系统的设计中，用于系统运行时间显示的 ACLK 信号不需要分频直接使用，用于控制中断程序。MCLK 用于 CPU 运行和程序的执行。

b) 中断服务

本系统很多地方需要使用到中断资源，如翻页翻行、显示运行时间、按键切换音乐。中断在 MSP430 中得到广泛应用，可以快速进入中断程序，之后返回中断前的状态。

中断时序如下：

MCU 执行程序 → 中断允许置位 → SR 中的 GIE 置位 → EINT（全局中断使能） → 中断到来，中断标志位（IFG）置位 → 从中断向量表中读取中断程序的入口地址，进入中断程序 → 中断允许位复位 → RETI 中断返回 → 回到原来地址

5.2 音频解码模块设计

音频解码模块是完成 MCU 从 SD 卡里读取的音频数据流进行解析，并转化成模拟信号进行输出。在这里我们使用 VS1003 音频解码芯片来实现音

乐数据流的解析，VS1003 与核心控制器的数据通信是通过 SPI 总线方式进行的。VS1003 主要通过串行命令接口(SCI)和串行数据接口 (SDI) 来接收 MSP430F149 控制器的控制命令和音乐数据。通过 xCS、xDCS 引脚的置高、置低来确认是哪一个接口处于传送状态。数据请求引脚 DREQ 用于 SDI 传送，利用其接收数据时输出高电平、低电平时发送器必须停止发送新数据的特点，来判断传送一条 SDI 数据或一条 SCI 命令之前的处理是否完成。对于 VS1003 芯片的功能控制，如初始化、软件复位、模式控制、低音/高音增强、改变音频数据采样率、暂停、音量控制、播放时间的读取等，均是通过 SCI 写入到特定寄存器实现的。

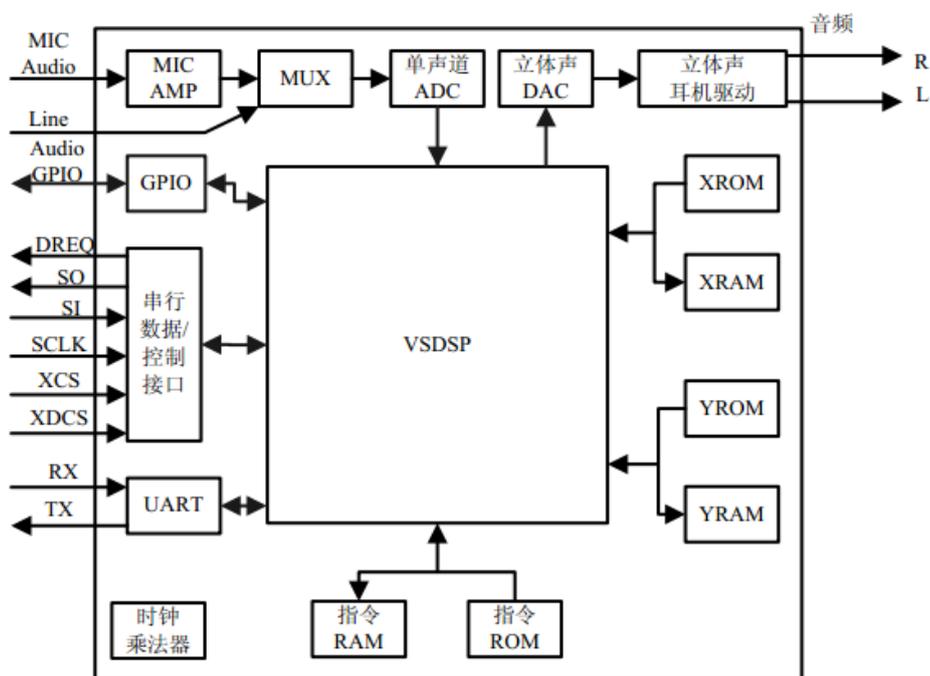


图 7 VS1003 内部结构图

5.3 TFT 液晶显示模块

2.4 寸彩色 TFT 显示面板上，共分布着 240×320 个像素点，而模块内部的 TFT 驱动控制芯片内置有与这些像素点对应的显示数据部分 RAM（简称显存），模块中的每个像素点需要 16 位的数据（即 2 字节长度）来表示该点的 RGB 颜色信息，所以模块内置的显存共有 $240 \times 320 \times 16\text{bit}$ 的空间，通常我们以字节 (byte) 来描述其的大小。

模块的显示操作非常简便，需要改变某一个像素点的颜色时，只需要对该点所对应的 2 个字节的显存进行操作即可。而为了便于索引操作，模块将

所有的显存地址分为 X 轴地址和 Y 轴地址，分别可以寻址的范围为 X Address=0~239,Y Address=0~319, X Address 和 Y Address 交叉对应着一个显存单元 (2byte); 这样只要索引到了某一个 X、Y 轴地址时，并对该地址的寄存器进行操作，便可对 TFT 显示器上对应的像素点进行操作，以实现字符大小和背景颜色的控制。

TFT 可以通过设置窗口分区显示，为了全面显示我们需要的信息，分了三个窗口显示。

- 第一个窗口：首行，显示阅读时间和阅读进度；
- 第二个窗口：除首行和末行，显示阅读文档，既可以显示英文，又可以显示中文，使用了 16 点阵和 24 点阵的中文汉字（包括中文字符）；
- 第三个窗口：末行，显示文件名

5.4 SD 卡模块

SD 卡共支持三种传输模式：SPI 模式（独立序列输入和序列输出），1 位 SD 模式（独立指令和数据通道），4 位 SD 模式（支持四位宽的并行传输）。

在本设计中，文本文件和音频数据文件以 SD 卡为载体，在电路设计中必须含有读取 SD 卡模块。在设计中采用了 4 线的 SPI 总线方式对 SD 卡进行读取。SPI 总线主要通过三根线进行数据传输：同步时钟线 SCK，主机输入/从机输出数据线 MISO、主机输出/从机输入数据线 MOSI，一条低电平有效的从机片选择线 CS。SPI 的片选信号及同步时钟脉冲由主机提供。与 VS1003 共用 SPI 接口，通过片选进行选择。

SPI 总线模式的数据以字节为单位进行传输，每个命令或数据块都是字节对齐的。主机与 SD 卡的各种通信由主机控制，主机在对 SD 卡进行任何操作前都必须先要拉低 SD 卡的片选信号 CS (card select)，然后由主机向 SD 卡发送命令，SD 卡对主机发送的任何命令都要进行响应，不同的命令会有不同的响应格式(1 字节或 2 字节响应)。SD 卡除了对命令响应外，在执行写操作时，还要对主机发送的每个数据块进行响应向主机发送一个特殊的数据响应标志)。

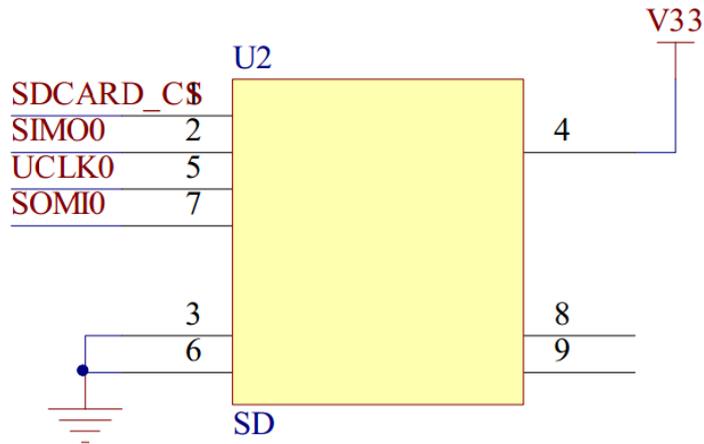


图 8 SD 卡模块原理图

5.5 按键电路

通过按键实现手动翻页与自动翻页的模式转换，和音乐播放控制。

使用 4×4 具有 8 个 IO 端口的按键电路，完成下列功能。

按键位置	1	2	3	4
1	下一页	上一页	下一文件	上一文件
2	下一行	上一行	翻页模式	快速翻页
3	自动翻页间隔 +1s	自动翻页间隔 -1s	未使用	未使用
4	暂停	下一曲	上一曲	未使用

表 2 按键电路功能与位置对应表

6 系统软件设计与实现

6.1 软件设计的主要思想

在设计本系统软件部分时，考虑到整个系统需要管理的内容较多，如何通过按键、SD 卡和液晶显示屏等实现有效管理，如何为系统扩展功能提供一个统一、方便的接口等问题，我们采用分模块设计的思想，针对各个功能分别编写程序、进行测试，最后将各个运行正确的子模块程序进行整合，成为一个具有多功能的系统完整程序。

首先进行系统初始化，包括系统时钟初始化，辅助计时时钟初始化，MSP430 内部看门狗初始化，IO 口子程序初始化。

6.2 软件设计平台（IAR Embedded Workbench IDE）

嵌入式 IAR Embedded Workbench 是一个非常有效的集成开发环境 (IDE)，它使用户充分有效地开发并管理嵌入式应用工程。作为一个开发平台，它具备任何在用户每天的工作地方所想要的特性。嵌入式 IAR Embedded Workbench IDE 提供一个框架，任何可用的工具都可以完整地嵌入其中，这些工具包括：

- 高度优化的 IAR AVR C/C++编译器；
- AVR IAR 汇编器；
- 通用 IAR XLINK Linker；
- IAR XAR 库创建器和 IAR XLIB Librarian；
- 一个强大的编辑器
- 一个工程管理器
- IAR C-SPY™ 调试器，一个具有世界先进水平的高级语言调试器。

嵌入式 IAR Embedded Workbench 适用于大量 8 位、16 位以及 32 位的微处理器和微控制器，使用户在开发新的项目时也能在所熟悉的开发环境中进行。它为用户提供一个易学和具有最大量代码继承能力的开发环境，以及对大多数和特殊目标的支持。嵌入式 IAR Embedded Workbench 有效提高用户的工作效率，通过 IAR 工具，用户可以大大节省时间。

6.3 文件系统的选择与实现

1) 文件系统的选择

文件系统在 windows 下一般较常用的有 FAT16、FAT32、NTFS 等。但一般 SD 卡里最常用的文件系统还是 windows 下的 FAT 类型，FAT16 与 FAT32 文件系统在结构划分和访问方式等很多方面都是相同的，区别仅在于 FAT 链表的位长和根目录是否同样采用链式存储两个方面。FAT16 的链表仅有 16 位并且采用定长的根目录区，对 U 盘的容量有很大限制。

2) FAT32 文件系统存储的基本原理

FAT32 最早是由于 FAT16 不支持大分区、单位簇容量大以致空间急剧浪费等缺点设计的。

FAT32 简单的来讲由 6 部分组成，引导扇区 (DBR)、保留扇区、其后

紧随的便是 FAT 表、根目录首簇、其他文件信息及数据信息构成。

引导扇区（DBR）保存了存储系统的文件系统格式、存储容量、扇区数、扇区大小、簇大小等重要信息。

保留扇区，也叫系统扇区或隐藏扇区，是指从分区 DBR 扇区开始的仅为系统所有的扇区，包括 DBR 扇区。在 FAT32 中，保留扇区的数据通常取为 63。

FAT 表是 FAT32 用来记录磁盘数据区簇链结构的。FAT 表记录了磁盘数据文件的存储链表，对于数据的读取而言极其重要，以至于 Microsoft 为其开发的 FAT 文件系统下的 FAT 表创建了一份备份，就是我们看到的 FAT2。FAT2 与 FAT1 的内容通常是即时同步的，也就是说如果通过正常的系统读写对 FAT1 做了更改，那么 FAT2 也同样被更新。

FAT32 的另一项重大的改革是根目录的文件化，即将根目录等同于普通的文件。这样根目录便没有了 FAT16 中 512 个目录项的限制，不够用的时候增加簇链，分配空簇即可。而且，根目录的位置也不再硬性地固定了，可以存储在分区内可寻址的任意簇内。FAT32 对簇的编号里没有 0 和 1 这两个簇，也就是 FAT 表下的第一个扇区为第 2 个簇，通常为根目录所用。FAT32 的一个重要的特点是完全支持长文件名。长文件名依然是记录在目录项中的。其中 FAT32 段文件名是采用 GB2312 编码，FAT32 短文件名格式中，其包括了文件名、扩展名、时间、日期的算法和文件数据起始簇及大小信息。长文件名中的字符采用 Unicode 形式编码，每个字节占用 2 字节的空间。



图 9 FAT32 的文件组织结构

程序中使用到如下的重要扇区号计算公式：

$$\text{DATA 起始扇区} = \text{保留扇区数} + \text{引导扇区数} + \text{FAT} * 2 + (\text{起始簇} - 2) * 32$$

6.4 SD 卡模块软件设计

SD 卡是本系统的文本文档和音乐文档的主要载体，它还有一个重要作用就是存放字库信息以供 TFT 液晶显示模块程序读入。

在本模块整个软件设计过程中，我们使用了 Winhex 这个软件进行 SD 卡的 FAT 文件系统信息查看，包括簇号、扇区号、扇区数、根目录等。

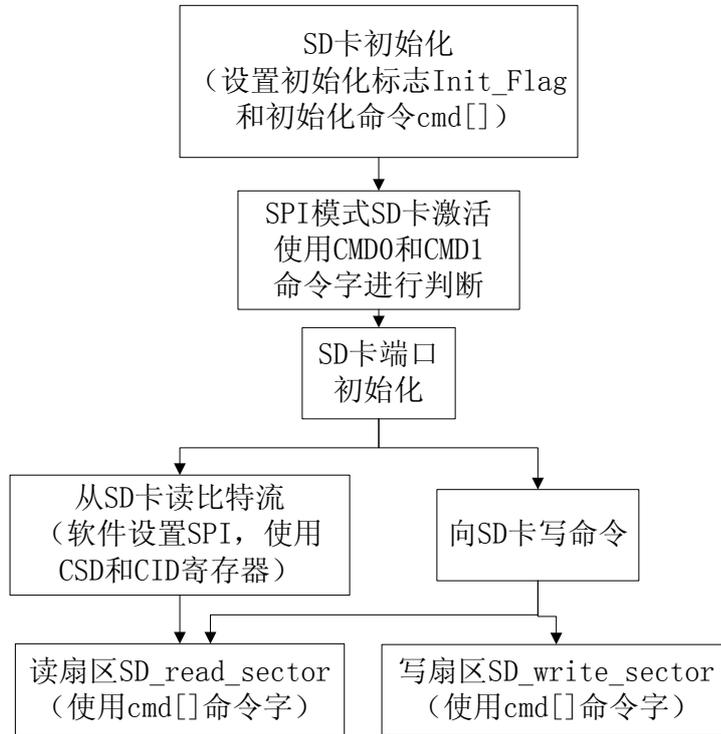


图 10 SD 卡模块程序流程图

6.5 TFT 液晶显示模块软件设计

- 1) **TFT 背景颜色显示功能**：采用的方法是，直接在程序中写入常见颜色的信息数组，供程序直接调用。
- 2) **TFT 背景图片显示功能**：使用了图片取模软件，将固定的几个背景图片取模信息存入程序，供用户选择使用。由于背景图片分辨率和数量有限，若改成从 SD 卡读取图片信息的方式，会降低用户真正想读的文本文档的显示速度，背景图片作为一种次要的显示模式，采取这样的方式实现还是比较折中可取的。
- 3) **TFT 字库实现**：

TFT 是一个没有带字库的液晶显示屏，要显示完整的中英文字符，需要自己做一个字库。也考虑过使用 GT23L24 系统字库芯片，但由于需要外搭电路，没有充分使用 SD 卡存储资源，系统不够精简，最终没有采用。

英文字符一般常用 ASCII 码，而且英文字母和字符个数较少，可

以直接使用取模软件获取它们的信息，存放在程序中直接调用。

中文字符现在常用 GBK 编码格式（包含 GB2312 编码），不同的点阵大小有不同的显示原理，所以需要相应不同的字库资源。

在本模块软件开发中，我们首先使用了汉字取模软件制作各个点阵大小的汉字字库，将字库信息直接放在程序定义的数组中使用。这种方式方便快捷，便于软件设计初级阶段进行程序的调试和测试。但是它的缺点在于汉字的字符集一般很大，至少要包括 3000 个常用汉字，并且汉字有不同大小如 16 点阵和 24 点阵，24 点阵汉字字符也是单独的一个字符集。这样针对每一种大小和字符都要分别取模，若用取模软件为每一个汉字和字符取模再放入程序中，会造成程序的极大冗余，显然不是理想的软件设计方案。

所以我们选择将字库文件烧录到 SD 卡中，再编写一个程序从 SD 卡中读出字库数据。这个过程中还有一个问题，用汉字取模软件制作的汉字字库排序混乱，没有办法从中获取汉字位置信息，所以需要从网络上收集齐全和可靠有序的字库资源，16 点阵的汉字字库包含相应的中文字符，而 24 点阵的汉字字库 HZK24S/H/S 不包含相应的中文字符，需要另一个中文字符字库集 HZK24T。最终将这些字库文件烧录到 SD 卡中，在程序中根据判断条件读取这些文件，良好地实现了中英文及字符的显示。

- 4) 显示阅读时间功能：调用了中断服务程序，使用辅助系统时钟 ACLK (32768Hz)，设定寄存器 TACCR 计数值为 ACLK 的频率值，利用 TAR 计数寄存器达到 TACCR 设定值时产生的中断，进行记秒。再加上时间的分制转换程序，即可显示已经阅读的时间。
- 5) 显示阅读进度功能：在 TFT 显示屏读取文档信息时，记下一屏最末字符的位置和整个文档的长度，进行计算即可得出当前阅读进度百分比。最初考虑显示当前页码和总页码，但想到用户真正关心的是已经阅读了多少而不是页码数，我们就将显示页码改为显示阅读进度。两种方案的实现原理都是一样的。
- 6) 显示文件名功能：程序中定义了一个全局变量——文件信息结构体，

它其中包含了文件名的信息 `FileInfo.FileName`，直接调用显示字符串的子程序就可以实现本功能。

- 7) 显示翻页模式和翻页间隔功能：设置一个翻页标志，在按下模式切换按键时对翻页标志进行取反，根据其进行相应模式的选择，并在显示屏上显示当前模式。增加翻页间隔存取变量，通过按键改变间隔时间，在自动方式下调用此时间进行自动翻页。

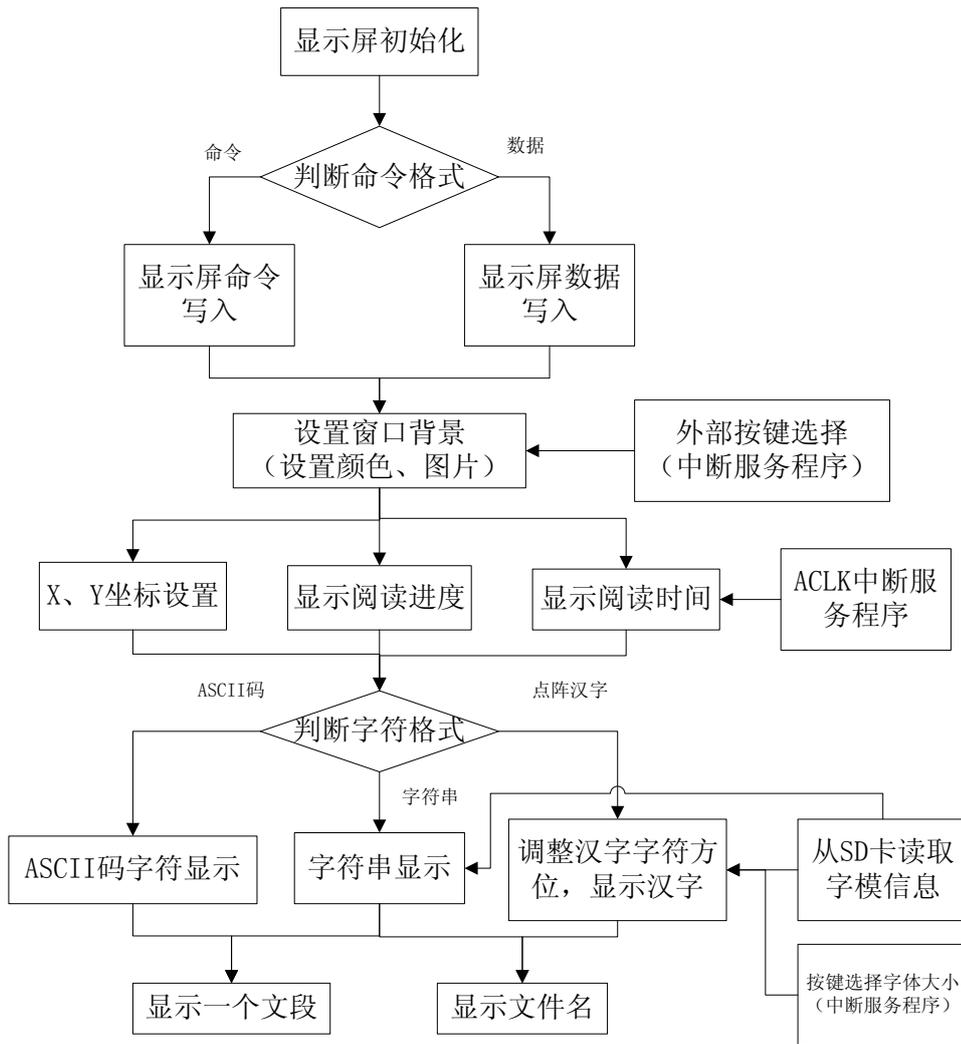


图 11 TFT 显示屏模块程序流程图

其中字模信息读取程序流程图如下，由检字标识位来判断是否有中文汉字信息，由检字数判断一次读取是否完成，由按键是否选择换屏进行字模指针首地址的偏移。字模的排列顺序按汉语拼音排序。

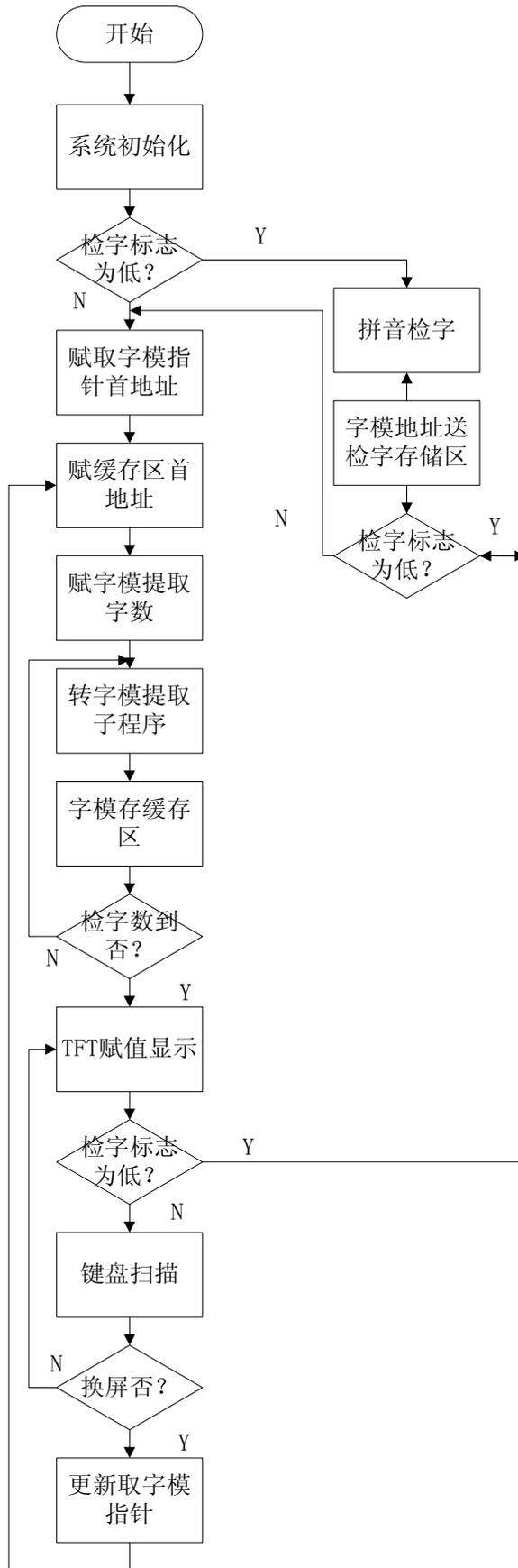


图 12 字模信息读取程序流程图

6.6 音频模块软件设计

选择播放音乐后，先初始化各个硬件模块，由 MCU 通过 FAT32 文件系统接口读取 SD 卡的一些基本信息，如容量、扇区大小、FAT 表及根目录所在的起始扇区等。通过获得这些信息后，就可以找出 SD 卡是否有我们可以播放的音乐文件。若有音乐文件，微处理器将通过 SPI 总线方式读出音频信息，并将歌曲的码流信息送入到 VS1003 芯片中，通过 VS1003 芯片解码以及其内含的高质量的立体声 DAC 和耳机驱动电路，实现歌曲的播放功能。在按键的控制下，实现对歌曲前一首、后一首的选择及音量控制等功能。

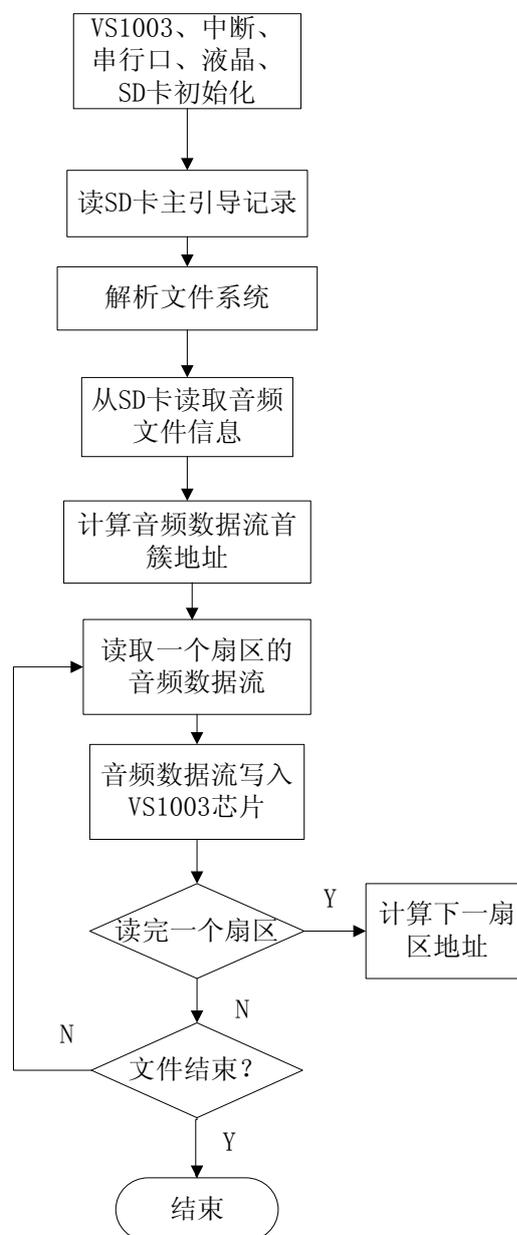


图 13 VS1003 音频解码播放模块流程图

在本模块软件设计中，在进行了 VS1003 芯片的正弦测试后，我们首先采用音乐地址直接寻址的方式播放文件，利用 WinHex 软件查看要播放的音乐文件存储信息，如起始簇号，扇区偏移等，直接在程序中调用 ReadSectorFromCluster()函数进行播放。程序中有初始音频文件采样率的设置，考虑到系统时钟等综合因素，我们设置最高采样率为 64KHz，所以需要码率最高为 64Kbps 的音乐文件，使用音乐码率转换软件获得 64Kbps 的音乐文件进行播放。经过程序调试可以以良好的音质效果播放音乐。

在实际用户使用本系统的情况下，会有多个音乐文件，每次存入的音乐文件位置也是不固定的，很明显使用直接寻址的方式是不能作为最终系统的实现方法的，所以我们使用调用函数自动寻址的方式进行播放。如流程图所示，可以成功地实现歌曲自动读取并且循环播放的功能。

6.7 按键模块

主要使用行列扫描进行按键判断，调用中断实现翻页翻行、播放或暂停音乐播放、上一曲下一曲、前一文件后一文件、翻页模式切换、快速翻页、自动翻页间隔时间增减功能。

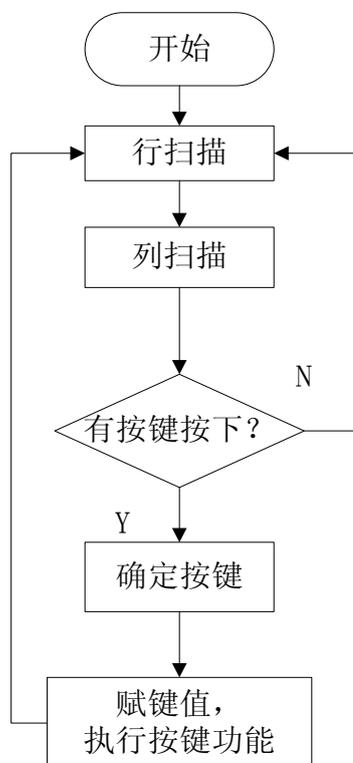


图 14 按键软件流程图

6.8 软件流程说明

系统启动后，先初始化各个硬件模块。由 MCU 通过 FAT32 文件系统接口读取 SD 卡的一些基本信息，如容量，扇区大小，FAT 表及根目录所在的起始扇区等。通过获得这些信息后，就可以找出 SD 卡是否有我们可以显示的 TXT 文档和可播放的音乐文件。若有可用文件，微处理器将通过 SPI 总线方式读出文件信息，并将显示的文档信息送至 TFT 显示，同时将歌曲的码流信息送入到 VS1003 芯片中，通过 VS1003 芯片解码以及其内含的高品质的立体声和耳机驱动电路，实现歌曲的播放功能。在按键的控制下，实现对 TFT 显示的控制和对歌曲选择及音量控制等功能。

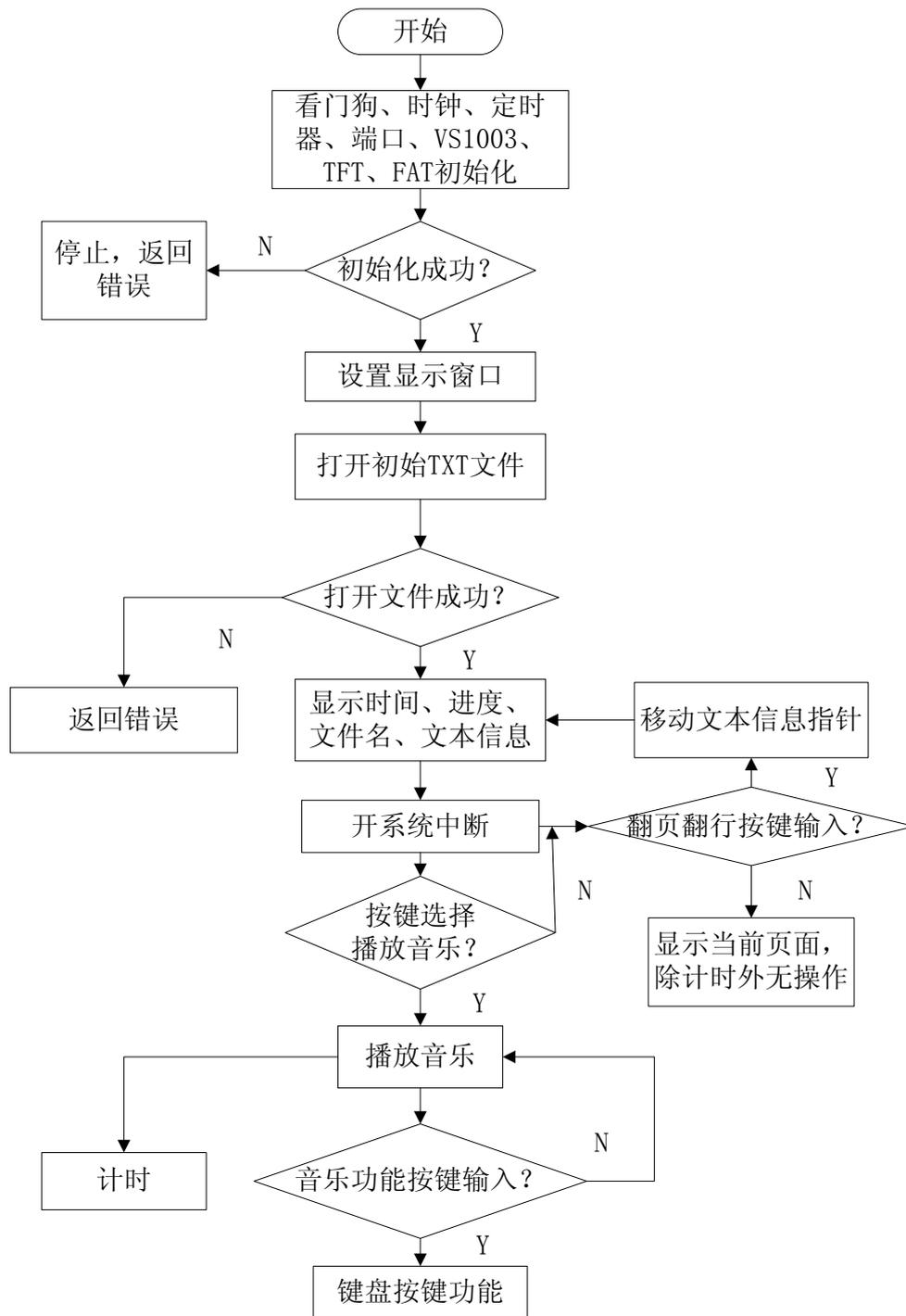


图 15 系统整体软件设计流程图

7 系统测试与结果分析

在完成此项目期间，遇到了不少故障，现将我们所遇到的主要故障，产生原因及其解决方法和最终的测试方案及结果总结如下。

7.1 调试故障、产生原因及解决方法

1) TFT 无法正常显示

原因：数据读允许使能 RD 没有关闭

解决方法：关闭数据读允许使能

2) SD 卡不能初始化

原因：端口设置不当，以 Bit 按位读取数据出错

解决原因：重设 IO 接口，时钟

3) 文件系统建立时，DBR 信息读取出错，存储变量设置不当

原因：建立文件系统时，FAT 的初始化与已建立系统的初始化冲突；没有考虑到 MBR 所占的空间导致寻址出错

解决原因：除去未建立 FAT 系统时的初始化程序；通过计算得到 DBR 所在的扇区；用 WinHex 软件查看 SD 卡内存状况，了解 SD 卡启动扇区和根目录信息

4) 图片不能完全显示

原因：代码区空间不足

解决方法：把图片数据存于 SD 卡直接读取

5) TFT 只能显示少量中文字符

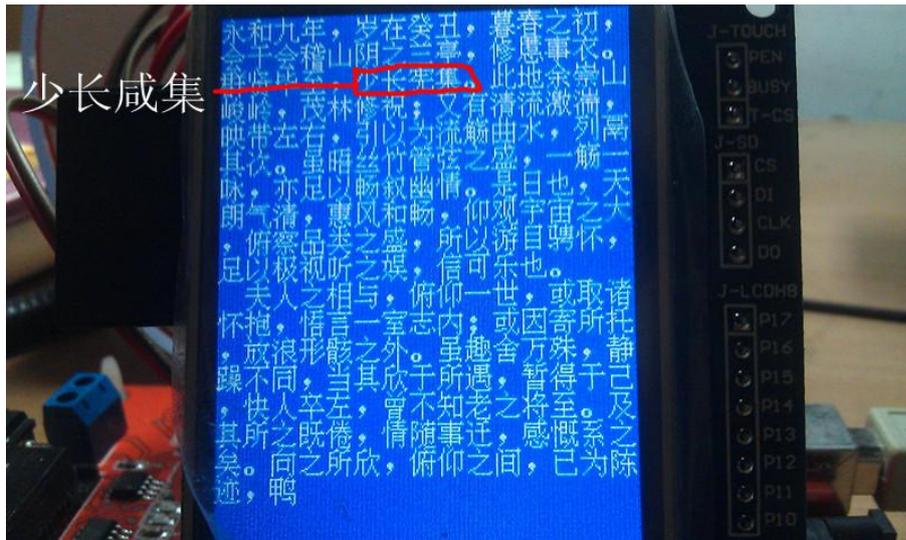
原因：只在程序里添加了一些汉字字模，不能存放太多

解决方法：把中文字库烧到 SD 卡中

6) TFT 显示中文有错误

原因：中文字库资源应该没有问题，程序存在确定的未知错误

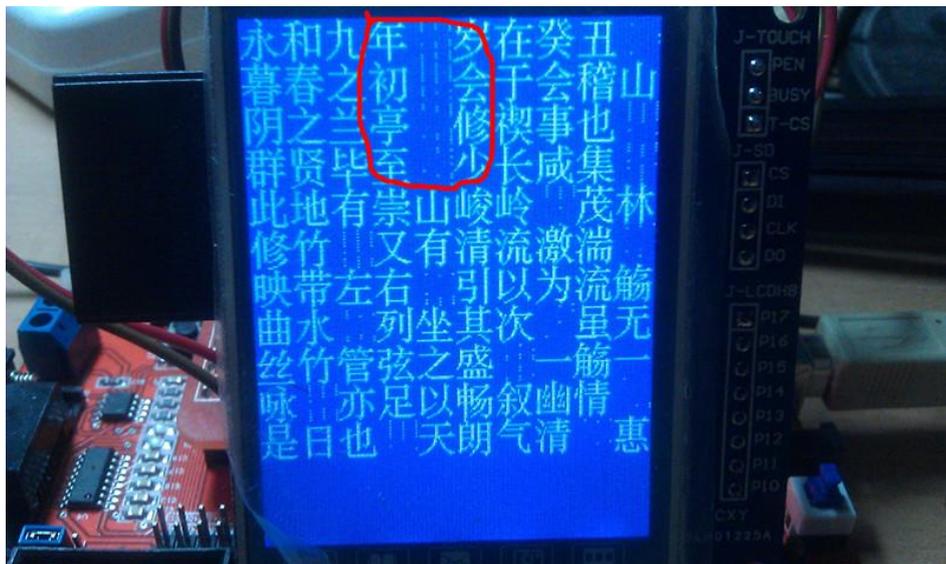
解决方法：修改程序，让每次循环都重新读取偏移量



7) 中文字符不能显示

原因：24 点阵的汉字字库不包含字符

解决方法：另烧录 24 点阵汉字字库文件 HZK24T 至 SD 卡中，在程序中加入文字和符号判断。



8) 中文显示速度慢

原因：读取字库文件消耗太多的时间

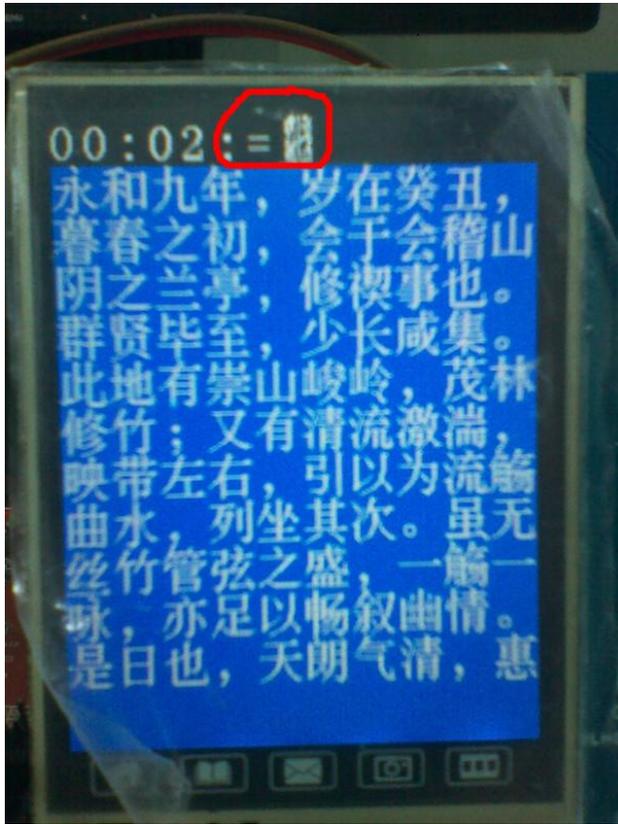
解决方法：把读取文件的方式改为直接寻址找到字库

9) 无法读取音乐文件

原因：VS1003 和 SD 卡共用 SPI 模式，导致读取信息冲突

解决办法：通过快速切换片选端口选择 SD 卡或 VS1003，实现宏观上的“并行”运行，微观上的“串行”读取。

10) 阅读时间显示无法更新，音乐播放时无法更新时间



原因：定时器、寄存器设计错误

解决办法：改变寄存器的值，改变中断位置，更正宏定义：TASSEL1更正为 TASSEL_0。

11) 按键电路板不工作

原因：电源不稳定，IO 端口电平不稳定

解决方法：改变程序扫描判断方式

12) 电源不稳定

原因：音响、TFT、音频模块会对电源进行分压，导致每个模块工作电压不稳定

解决方法：接稳压电路，分模块独立借电源

7.2 测试方案与结果

7.2.1 测试方案

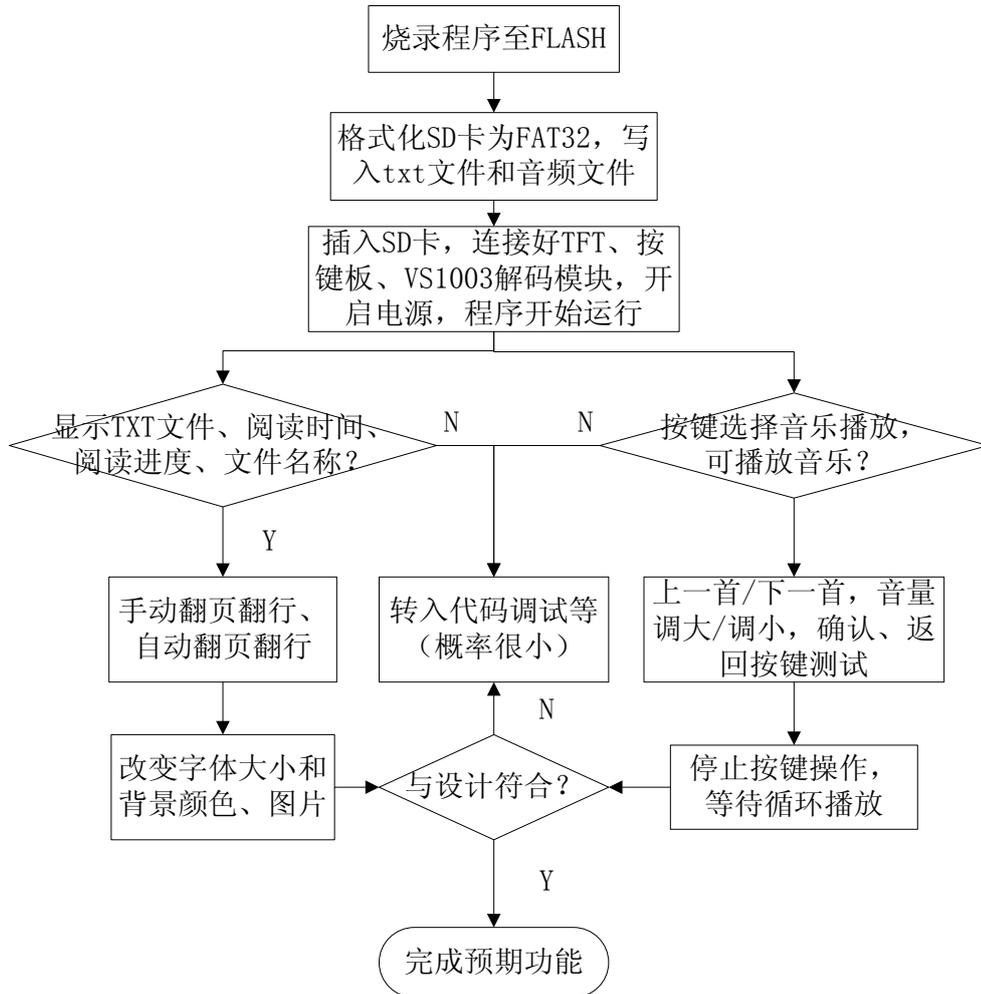


图 16 系统测试方案流程图

7.2.2 测试结果

测试结果显示，系统运行结果与设想基本相符，实现的功能如下：

- 从 SD 卡上读取文本文档（包括中英文），并在 TFT 液晶屏上显示
- 控制 TFT 显示字体的大小及字体与液晶屏背景颜色
- 手动翻页模式下实现快速翻页
- 通过按键实现手动翻页与自动翻页的模式转换
- 自动翻页模式下通过按键改变翻页的速度
- 通过 TFT 显示阅读时间，提醒用户注意休息，保护视力
- 通过 TFT 动态显示阅读进度
- 通过 TFT 显示当前阅读文件的文件名

- 多首背景音乐的循环播放，可以通过按键实现音量的控制与歌曲的选择
- 单词与分段处理（单词换行时用短线连接）

设计目标中的基本功能和扩展功能全部实现，而且系统具有很强的稳健性，表现在按键翻页、翻行十分灵敏，文本读取进度和时钟时间相当精准，各种控制都能实时生效，背景音乐播放清晰流畅。

8 心得体会与项目总结

1) 心得体会与总结

曾庆：通过这次硬件课程设计，真的收获了很多。以前觉得嵌入式系统、单片机、智能控制这些东西都很高端，不知道自己什么时候才能设计出自己的东西。而在课设中，感觉到其实它们并不是那么遥不可及，而是贴近我们的生活，而且是自己所能设计的。课设刚开始时，经常有种不知道该如何入手的感觉，看资料、看程序、看教学视频，看得很纠结。到自己亲自写写程序，调试单片机，才渐渐进入状态。但是到真正设计具体的模块时，又一次感觉到无从下手，之前掌握的东西不知道该如何应用起来。TFT 液晶屏模块、SD 卡驱动和文件系统模块、中文字库模块、vs1003 音乐播放模块等等，都曾经让自己焦头烂耳。每一个模块都要投入大量的努力。而在努力之后，也收获了成果。而在各模块完成之后，还有把它们整合起来，才能实现完整的系统。这阶段的工作虽然不像模块设计那样难以入手，但是要注意许多细节，要对模块做一些适应性的修改。

在整个课设中，自己投入了大量的精力和时间，有时候真的几乎到了山穷水尽的时候，但自己还是坚持了下来。我觉得毅力是最重要的，而兴趣是最大的动力。在其中学到了许多，也和队友增进了友谊，这是最大的收获。不论结果如何，我都已经尽力了，问心无愧。

舒梦雨：在这两个多月的硬件课设过程中，我们组效率还可以，相对比较顺利。虽然期间遇到了不少问题，但是大家一起总能耐心解决。最感激的算是组长了，我是这个组中 C 语言基础最差的，一开始的时候，很多程序都看不懂，都是组长明白了，给我解说。后来我和台阳一起看程序，不懂得就

问，慢慢的能自己看懂程序，也能提出一些方案来，并且将原有的程序也自己再学了一遍。在团队中，我主要负责查找资料，可以自己过滤后再分享给组里，比如 SD 卡参考程序，MP3 模块的设计等。有时还会和另外一个组讨论，共享软硬件资源，但不包括代码。中间完成了一些硬件模块的设计，并选择和购买相应的芯片。后期完成了按键电路控制模块的软件设计，主要是对 TFT 显示和音频播放的控制。组长完成了大部分的软件设计，熬夜肯定是经常的，再加上有时候程序调不出来，身心俱累，也只是哼哼歌放松下自己。积极的态度让我很受感染。台阳则乐于学习且做事非常认真，我往往只是完成所必须完成的任务，而台阳却是一定要做到精益求精，这让我们团队的工作更加出色。

团队的分工很好，合作很顺利。大家一起坚持，相互鼓励打气，相互关心，相互学习，课设过程中感觉很温暖和充实。

这次课设中，我熟悉了 MSP430 单片机的工作原理，SD 卡的读写控制，TFT 的显示控制等，加强了对 C 语言的理解与使用能力，真正的学到知识，提高能力，并体会到与人合作的喜悦。

台阳：从开始决定选择本项目作为参赛课题到最终完成系统功能实现，我经历了由对本项目无从下手的零起点，经过需求分析、目标功能化解，设计方案的可行性讨论，逐渐对系统的整体设计和各个子模块的实现方法有了基本了解，再经过一个个子模块、子功能的设计和实现，以及最终完整系统的实现，我收获颇丰。

第一，在接触一个新课题时，首先要大量阅读相关文档，对各种实现方案有充足了解和权衡比较。在设计本项目之初，由于我们基础资料的积累不够，系统的方案一直持久不定，从开始想使用 DE2 开发板外加两个 TI 芯片的方案到使用 LaunchPad 最小板系统以 MSP430G2231 为核心芯片，直到最终决定使用以 MSP430F149 为核心的开发板的方案，这个过程中其实花了很多无用功在看与最终方案无关的学习资料，大大减缩了有效的项目开发时间，我们以后绝对要吸取这个严重的教训。

第二，本次硬件课程设计加深了我对先修课程的理解和掌握，包括模电

数电、微机原理和嵌入式系统等，尤其提高了对一个完整的嵌入式硬件系统设计、开发与实现流程的认识，以前的相关课程学习到的都是细节上的基础原理，而在本次课程设计中我学到了如何在实际硬件开发中应用这些知识。此外，通过软件设计开发使用 C 语言为编程语言，我的 C 语言编程能力有了巩固和提高，如进行文件操作、宏定义、外部函数调用、中断服务程序的编写等。

第三，我们组员之间的相互合作非常良好，在组长按照每个组员擅长领域进行的任务分工下，我们之间进行及时的交流和讨论，任何技术上的疑惑和对项目开发的建议都可以提出来，如我在实现显示阅读时间功能时，对中断服务程序和端口引脚定义不太理解，在队友的帮助下知道了相应方法，但是该程序仍然有时间计时频率不正确的问题，曾庆排查了各种原因，最终发现是一个计数器寄存器的定义错误造成的，及时地帮我解决了问题。

第四，项目开发中的文档十分重要，电子系统设计文档整理和总结报告是对我们写科学论文和科研总结报告的能力训练。通过写报告，不仅对设计、组装、调试、测试的内容进行全面总结，而且把实践内容上升到理论高度。在曾喻江老师的指导下，我们每周都要提交工作周报，最后集中时间每天都要在组员内部发生站立会议纪要和交付件，这些加上平时自学的文档都是最后系统调试和项目总结报告的第一手素材资料。

2) 项目展望

由于项目的开发时间和我们的能力有限，还有以下扩展功能可以在以后实现，更全面地完善系统功能。

- 通过 UART 与电脑通信，在电脑上阅读和播放音乐等
- 背景图片的切换，从 SD 卡导入背景图片显示
- 自己设计 PCB 板，并将其封装成手持式设备
- 将按键功能改为触摸屏实现
- TFT 液晶屏亮度调节，设置夜间和日间显示模式
- 长时间无操作时，系统切换至休眠状态，可迅速唤醒
- 打开相同文件，显示上次阅读位置

9 致谢

感谢曾喻江老师孜孜不倦的指导和悉心帮助；感谢电信系举办此次 TI 杯电子设计竞赛；感谢 TI 公司提供的支持！

10 参考文献

- [1]沈建华, 杨艳琴, 翟晓曙.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用. 北京: 清华大学出版社.2004
- [2]李帷谩, 郭强.液晶显示器件应用技术[M].北京: 电子工业出版社, 2000
- [3] 马忠梅, 单片机的 C 语言应用程序设计[M], 北京: 北京航空航天大学出版社, 1999
- [4]李师贤, 李文军等编著.面向对象程序设计基础(第二版)[M].北京: 高等教育出版社, 2005
- [5]周纯洁, 刘正林等编著.标准 C 语言程序设计及应用[M], 武汉: 华中科技大学出版社, 2008
- [6]王振, 郭洋洋.简易文本阅读器设计[J].华中科技大学, 2011
- [7]洪家平.基于 VS1003 解码器的 MP3 播放器设计[J], 单片机与嵌入式系统应用, 2010
- [8]Rolf Freitag.MSP430 与 MMC/SD 卡接口设计[OL].
<http://wenku.baidu.com/view/6954e68583d049649b665840.html>
- [9]电子技术应用.基于 MSP430 和 SD 卡的 FAT16 文件系统的设计[OL].
<http://www.61ic.com/Article/MSP430/MSP430/201109/38264.html>
- [10]赵建, 谢楷等.MSP430 系列十六位超低功耗单片机教学实验系统实验教程[J], 西安电子科技大学测控工程与仪器系, 2006
- [11]DM430-L 型单片机系统板使用手册 V2.0.pdf
- [12] DM430-L 原理图 PDF 版.pdf
- [13] IAR 安装和使用说明.pdf
- [14] VS1003.pdf
- [15] 2.4 寸 TFT 原理图.pdf
- [16] 取模软件的使用.pdf
- [17] TI 面向平板电脑和电子书的解决方案 (中文版).pdf

11 附录

1) 宣传网站

<http://ei.hust.edu.cn/teacher/zengyj/2012/EI1300292/EasyReader/index.html>

2) 程序代码列表说明

char.h	ASCII 码和 16x24 点阵汉字字模定义
cj.h	定义相关宏
fat.h	扇区、簇、目录初始信息定义，文件操作
Init.h	系统初始化（时钟、看门狗、端口、按键）
LCD_driver.h	TFT 显示初始化
mytype.h	数据类型自定义
picture.h	背景图片取模信息
SDcard.h	SD 卡 SPI 模式和端口定义，初始化读写命令
vs1003.h	VS1003 初始端口和信号定义，定义基本功能函数
FAT.c	FAT 文件系统函数定义
LCD_driver.c	TFT 显示屏函数定义
Init.c	系统初始化和按键扫描中断
main.c	系统主函数，显示阅读文档，显示阅读时间和进度中断
SDcard.c	SD 卡函数定义
vs1003.c	VS1003 函数定义