

# Design of the Ultrasonic Milk Analyzer with ARM and DSP

WANG Mingwei<sup>1</sup>, YAO zhan<sup>2</sup>

1. College of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China

2. Department of Physics, Xianyan Normal University, Xianyang 712000, China

1. wangmingwei@sust.edu.cn 2. zhanyao90@163.com

**Abstract:** According to the function relations between the changes of ultrasonic characteristics and the contents of milk as ultrasonic transmitting in the milk, the new design of the ultrasonic milk ingredient analyzer is brought forward. By using ARM+DSP master-slave system, embedded Linux operation system and reasonable task-assigned strategy, the real-time and the measurement accuracy of the system are guaranteed. The stability and anti-interference ability of the system are super to the traditional analyzer using MCU. The workflow of the system is presented.

**Keywords:** milk; ultrasonic; analyzer; ARM; DSP

## 基于 DSP 和 ARM 的双核超声乳品成份检测仪

王明伟<sup>1</sup> 姚展<sup>2</sup>

1 陕西科技大学电气与信息工程学院, 西安, 中国 710021;

2 咸阳师范学院物理系, 咸阳, 中国 712000

1.wangmingwei@sust.edu.cn 2. zhanyao90@163.com

**【摘要】**根据超声波在牛奶中传播的声学特性的变化与乳品中的某些成份存在一定的函数关系, 提出了一种新型超声波乳品成份检测仪设计方案。该方案通过采用 ARM+DSP 主从结构、嵌入式 Linux 系统及合理任务分配策略保证了系统的在线实时检测和智能化要求。给出了系统的构成以及主要工作流程。在对该仪器的实际操作中, 仪器的检测精度、检测数据的重现性均优于传统的以单片机为核心的检测仪。

**【关键词】** 乳品; 超声波; 检测仪; ARM; DSP

### 1 引言

目前, 中国市场上销售的国内外几种超声乳成份检测仪大多采用 MCU(如 51 系列单片机)为核心器件外加分散的模拟和数字器件实现。这类以微处理器为核心的检测仪器由于受到微处理器的主频及中断响应时间的制约, 测量结果存在较大的误差, 仪器的检测精度、检测数据的重现性较低, 远远不能满足生产实际的检测需要。另外, 这种采用传统搭积木方式生产的检测电路集成度较低, 抗干扰能力普遍较弱, 已不适合高可靠性、高频率的超声检测系统设计。

随着数字信号处理(DSP)与嵌入式系统(ARM)技术的成熟与广泛应用, 对现有的超声乳品成份检测仪进行更新与升级, 可对待检测乳样品进行无损、高速和实时在线检测, 人机交互功能得到极大提升, 实现超声乳品成份检测仪的智能化。

### 2 牛奶成份超声检测原理

低能超声检测技术(Low-intensity Ultrasonic Measurement)是一种利用能量低于 1W/cm<sup>2</sup> 而频率高于 100 kHz 的超声波获取被检材料的内部结构、物化特性等信息的测量技术, 该技术通过检测超声波在媒质中传播时声波与媒质的相互作用的类型和程度来获取媒质非声学特征信息<sup>[1]</sup>。现阶段, 在中国对乳品质量的物理特性的超声检测是乳品工业用来确定产品质量的重要手段, 但是乳品组份的多样性及所要满足的检测精度对超声检测技术提出了更高要求。乳品为典型的油水分散体系, 脂肪小颗粒分散在含有胶质蛋白、可溶性蛋白、盐和乳糖的水相中, 其品质受到诸如动物个体差异、地域、人为参假等诸多因素影响。食品工业上对乳品的检测项目主要是脂肪小液滴含量的检测、非脂乳固体(SNF)含量的检测和总固形物(TS=脂肪+非脂乳固体)含量的检测。乳品成份多样性导致检测模型的确立比较困难, 因为混合后的物质声速并非纯物质成份声速的简单叠

资助信息: 陕西科技大学自然科学基金项目(ZX08-21); 咸阳师范学院专项科研基金资助 07XSJK278.

加,与各成份浓度及其相互作用都有密切关系。检测在不同温度下,低能超声波通过浓度较高的液态乳液(如鲜牛奶等)的渡越时间,结合理论和经验公式来实现超声波速度和组成成份的公式关系。

超声波穿过特定成份的液体,其速度跟成份的物理特性的关联性,可以表述为<sup>[2]</sup>:

$$\frac{1}{c^2} = \kappa\rho \quad (1)$$

式中, c 为超声波声速; ρ 为液体密度; κ 为液体的绝热压缩率。该式适用于可以近似被认为液体的材料,也即是衰减系数远小于体积系数 (ω/C)。

液态高浓度乳品(鲜牛奶)属于多相物质,对多相物质成份测定最早为 Wood 所提出,而 Urick 用一个方程详细阐述,并以他的名字命名这个方程。这个方程如下式:

$$\frac{1}{c^2} = \sum_{j=1}^n \phi_j \rho_j \sum_{j=1}^n \phi_j \kappa_j \quad (2)$$

其中 c 为超声波声速, ρ<sub>j</sub>, κ<sub>j</sub>, ϕ<sub>j</sub> 分别为组分各自的密度、绝热压缩率、成分 j 的质量百分含量。此方程也被称作均一描述方程,因为每一相的性质都是独立于系统体系性质。对于鲜奶液,就必须考虑其它成份对超声波速度的影响,假设变化成份的密度大约近似的情况下,超声波在复合成份中的特性可用下式表述:

$$\frac{1}{c^2} = \sum_{j=1}^n \frac{\phi_j}{c_j^2} \quad (3)$$

等式(3)描述了材料超声波特性与成份间的关系,也比较容易实现,只需在多个不同的温度下测量超声波穿过液态牛奶的速度即可。

### 3 检测仪硬件总体方案

检测仪的设计方案利用 DSP 高速及强大的数据处理能力,实现超声信号检测与处理<sup>[3]</sup>。利用处理器 ARM 丰富的接口,负责系统人机交互、网络传输等任务。基

于此设计思想开发的嵌入式数据采集和处理系统,既能实现数据信号的精确采集,又能保证运算处理的实时性与准确性,并且系统稳定可靠。根据以上分析,系统应主要包括超声发射与接收传感器、温度控制、主处理器 ARM 和 DSP、外围键盘、LCD 显示、网络传输等,检测系统整体框图如图 1 所示。

检测超声波信号受电压信号激发,经过超声发射换能器将电压以超声波的形式辐射出去。超声波在牛奶液媒质中传播后,接收换能器将接收到的超声波信号转换成微弱的电信号,经过放大、滤波、整形后成为可以被检测到的电信号。由于牛奶检测的温度对超声波在奶液中的传播速度有影响,应保持牛奶液在样品管中被检测时是恒定在某个温度,因此检测仪配有独特设计的恒温电路和温度传感器电路。由于超声在液体媒介中传播一般为 900m/s~1900m/s 而且样品管的长度有限,所以超声在样品管中的时间很短,同时因为牛奶中某些物质与传播时间的精确性有很紧密的函数关系,检测仪采用高速 DSP 芯片解决这个难题,将时间精确到 10e-7s 以内。

#### 3.1 系统主控管理模块

系统的控制单元的主处理器采用了 ARM9 微控制器 S3C2410A 设计,主要因为其接口丰富,控制能力强,解决了 DSP 芯片数据处理能起强大但控制能力弱的缺点。目前 ARM9 系列的处理器已经成为目前应用领域的主流,ARM9 芯片主频高、性能优越、内部集成的接口丰富、工艺先进,在性价比、功能、功耗方面都远远超过以往的 ARM 芯片。在本文介绍的系统中采用了 SAMSUNG 公司的 S3C2410A 芯片作为硬件平台的中央处理器,该芯片采用 ARM920T 微处理器作为控制器内核,其在高性能和低功耗方面表现良好,它采用 5 级流水线,支持协处理器、片上调试和 MMU 等技术。内核运行速度高达 203M 并集成了 LCD、USB、NAND Flash、SD Host、MMC、触摸屏等接口控制器,对嵌入式 Linux 操作系统良好的支持等,可大大简化设计复杂度<sup>[4]</sup>。

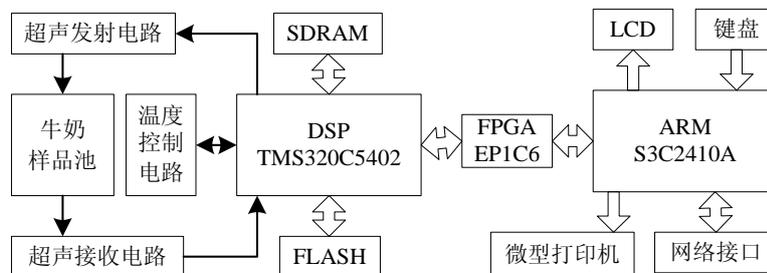


Figure 1. Block diagram of the ultrasonic milk ingredient analyzer  
图 1.牛奶成份检测系统结构框图

S3C2410A 支持包括 ROM/SRAM/Flash、DRAM / SDRAM 和外部 I/O3 类存储空间,可支持 8 位/16 位/32 位的存储器系统。本系统采用 2 片 HY29LV160 芯片并联构建 32 位的 ROM / Flash 存储器系统。HY29LV160 是 HYUNDAI 公司生产的 2MB 容量的 Flash 芯片,有 16 位数据线,可以 8 位或 16 位方式工作。系统采用 2 片由三星公司生产的 8MB 容量的 SDRAM 芯片 K4S641632F,构建 32 位的 DRAM / SDRAM 存储器系统。

### 3.2 数据检测与处理模块

以高速、低功耗为特征的 TI C54X 系列 DSP,采用先进的改进型哈佛结构,比传统的冯诺依曼结构具有更高的 DSP 指令速度,且具有分离的数据总线和程序总线,片内集成了 ROM、RAM 和多个外设。系统数据处理部分以 TI 公司的 TMS320C6202B 为核心,独立于系统的控制部分单独工作。这部分主要实现对超声信号的检测与处理和数据存储,以供主处理器调用,同时它还要控制 FPGA,完成与 S3C2410A 主处理器的数据交换。TMS320C6202B,它的特点如下:1)工作频率 300MHz,指令周期 3.3 ns,最大处理能力达到每秒 2400 百万条指令;2)超长指令字结构;3)指令包以减小代码长度;4)位操作以及指令的选取、设置与删除;5)支持 32 位、16 位、8 位数据;6)支持非紧密的 32 位存储器接口;7)具有两个带引导装载功能的 DMA 通道;8)片内锁相环电路,使得 TMSC6202B 的最高工作时钟达到 300 MHz;9)352 引脚 BGA 封装<sup>[5]</sup>。

### 3.3 DSP 与 ARM 的接口模块

系统的接口模块关系到 DSP 和主控制器的数据交换,所以是系统设计的关键,也是系统设计的难点。在高速系统设计中,传统情况下使用双口 RAM 进行数据传递,但是实践证明其时序比较复杂。为了简化设计,提高可靠性,该方案选用 Altera 公司的 FPGA 芯片 EPIC6 来完成 DSP 和 ARM 的数据互换。在 FPGA 中实现异步 FIFO 存储器,并设计 DSP 和 ARM 通信的握手电路。这样 DSP 和 ARM 可以通过握手电路的协调控制互相传递数据。为了方便系统得参数设置,同时配置了串口和配套的监控程序,可以通过 PC 机连接到该系统,从上位机更新系统的相关参数,增强了系统的通用性、适应性和灵活性。

## 4 系统软件设计

该方案中,系统的软件设计主要包括 DSP 芯片的软件设计,ARM 控制器的嵌入式软件设计以及 FPGA 逻辑电路设计。DSP 的软件主要完成超声传感器信号检

测和处理、温度检测和控制、通过 FPGA 的握手信号与主控制器进行数据交换等。ARM 主控制器的软件设计包括嵌入式操作系统的移植,TCP/IP 协议栈的移植,图形系统的移植,LCD 驱动程序的编写,系统监控程序的编写等。系统的各个任务关系如图 2 所示。

DSP 的处理程序主要通过 TI 公司的开发软件 CCS2.2 编程开发,生成 16 进制文件格式,加载到 DSP 内部程序存储器中,采用 16 位并行启动加载。在此基础上 DSP 完成与 ARM 处理机之间的数据通信为了提高对乳品成分检测精度,在 DSP 对乳品成分进行实时检测的时候不响应主控制器的任何请求,到了对信号处理周期才开始响应其它请求。

主控制器的操作系统采用 Linux 2.6.27 版实时嵌入式操作系统,负责任务的调度和任务间通信。系统一共设有 3 个任务:数据传递任务、界面显示任务、网络任务。数据传递任务在就绪状态下被 DSP 唤醒,进行与 DSP 的数据交换服务。同时该任务还可以接受用户的参数更改。界面任务在 LCD 上显示信息,并接受键盘或者上位机输入命令,根据输入对系统工作参数、显示方式等做出相应调整,或将指令传递给 DSP 系统。网络任务实现 TCP/IP 协议和套接字服务,它负责高层软件的网络通信。网络服务时针对数据采集系统的远程操作设计的一个服务进程。它负责处理用户从网络发来的请求并做出响应。

FPGA 的编程工具是 Altera 公司的开发软件 Quartus II,采用 Verilog HDL 描述语言来完成 DSP 和 ARM 主控制器的通信握手信号并且实现数据交换。

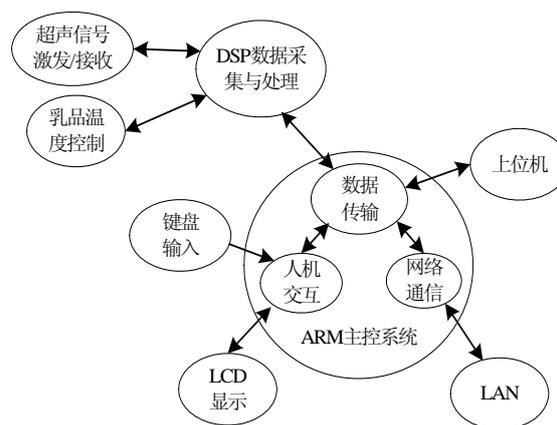


Figure 1.Relations in the tasks of the system

图 2 检测系统中任务关系

## 5 结束语

该系统采用了目前先进的 ARM、DSP 及 FPGA 技术,ARM 作为主处理器,完成系统控制和网络通信;

DSP 作为协处理器,完成超声传感器的信号检测与信号处理。FPGA 完成二者通信接口及其系统的逻辑设计,使整个电路简洁、高效,具有可重构性。这种结构中 DSP 的快速数据处理能力保证了动态信号采集分析系统的实时。由于 DSP 及 FPGA 均是可编程的,系统配置及运算灵活,加之其性价比高、体积小、功耗低,且嵌入式操作系统支持的软件丰富、源代码开放、裁剪灵活等特点,使该系统设计满足了数据采集分析对实时性、网络化和低成本要求。因此,将成为桥梁信号采集与处理领域及其它结构健康监测领域新的应用趋势,在实时数据采集和信号处理系统中有着广泛应用前景。

## 致谢

在项目研究工作中,感谢陕西科技大学电气与信息工程学院、食品工程学院以及咸阳师范学院物理系的诸多老师都给与的帮助。感谢陕西科技大学和咸阳师范学院给与基金资助。

## References (参考文献)

- [1] WANG Mingwei, TANG wei, Li Qian. Design of Ultrasonic Milk Ingredient Analyzer with ARM[J]. Instrument Technique and Sensor, 2006,8:12-14 (ch).  
王明伟, 汤伟, 李茜.基于 ARM 的超声乳品成份检测仪的设计[J].仪表技术与传感器.2006, 8:12-14.
- [2] McClements D. J. Advance in the application of Ultrasound in food analysis and processing[J].Trends Food Sci.Technol, 1995 (6): 293-299.
- [3] WANG Yuhua.Real-time Data Collection System of Bridge with Fiber Sensor Based on DSP and ARM Technologies[J]. Journal of Wuhan University of Technology,2006,28(8):107-109 (ch).  
王玉华.基于 ARM 和 DSP 的光纤传感器桥梁实时数据 采集[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(8):107-109.
- [4] TIAN Duo. Development and Application of Embedded System[M].Beijing: Beihang University Press,2005(ch).  
田泽.嵌入式系统开发与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [5] Samsung Electronics. S3C2410A RISC Microprocessor User's Manual [Z]. 2004.
- [6] Texas Instruments. TMS320C6202, TMS320C6202B Fixed-point Digital Signal Processors User's Manual [Z]. 2004.