

中文摘要

光纤、电容液滴分析仪 (FCDA: Fiber-Capacitive Drop Analyzer) 是利用光纤液滴分析技术和电容液滴分析技术设计的新型液滴分析仪器, 利用监测液滴生长过程中光纤信号和电容信号变化值得到“液滴指纹图”。通过该指纹图可以获得有关该被测液体的物理、化学特性。利用这一原理, 该仪器可以实现细微差别液体的鉴别测量, 并且在环境保护、制药工艺、食品饮料等所有涉及液体检测的领域。

本课题由“中国新加坡联合研究计划”项目 (Project Number: 003/101/04) 资助, 旨在将液滴分析实验装置仪器化。本课题采用嵌入式的信号采集、处理系统, 将液滴分析仪器进行了便携式的改进。同时, 着眼于几种典型的、具有科研价值和市场价值的液体样品, 编写了针对这些液体样品鉴别的软件, 并在实验中取得了预期的效果。

本课题主要完成了以下工作:

- (1) 完成了嵌入式系统的设计。
- (2) 完成了鉴别细微差别液体的软件设计。
- (3) 完成了液滴识别程序的嵌入式系统移植。
- (4) 用实验的方法检验了程序的可靠性。

关键词: 液滴分析, 光纤、电容液滴传感器, 基于体积的液滴指纹图, 嵌入式系统

ABSTRACT

The fiber-capacitive drop analyzer (FCDA) is based on a specially designed drop sensor by means of the fiber drop analyzing technology and the capacitive drop analyzing technology, and produces a volume-based fiber drop trace (VFDT), which shows the relation between the light intensity passing through the liquid drop and the instant drop volume. Using this principle, we are able to achieve the precise liquid measurement differentiations, as well as liquid detection for environmental protection, manufacture works, food and beverage regulations etc.

The project is supported by the NSTB-MOST Joint Research Program (Project Number: 003/101/04), where NSTB refers to the National Science and Technology Bureau of Singapore and MOST refers to the Ministry of Science and Technology of China. This project aims to make the drop analysis experimental device become a practical instrumentation and to make some analysis of the experimental results of typical samples. Instead of building complicated database, we focus on some typical samples, which have scientific and economical values. Then we finished the software which could distinguish these liquids, and finally, have a nice outcome in the experiment results.

The work of this thesis includes:

- (1) Designed the embedded controlling system.
- (2) Finished the software which could distinguish the tiny distinction between the two liquids.
- (3) Transplanted the software from Win32 platform to Arm-Linux platform.
- (4) Verified the reliability of the software by means of experimentation.

KEY WORDS: drop analysis, fiber-capacitive drop sensor, volume-based fiber drop trace, embedded system

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得天津大学或其他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。

学位论文作者签名：马浩 签字日期：2007年7月8日

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解天津大学有关保留、使用学位论文的规定。特授权天津大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：马浩

导师签名：张祖荫

签字日期：2007年7月8日

签字日期：2007年7月9日

第一章 绪论

1.1 引言

液滴分析技术是指在被测液体形成液滴的过程中,采用各种手段对被测液体实行检测,以获得待测液体的物理、化学特性参数,对液体进行定性和量化识别的技术。它是随着人们对可持续发展和环境保护的逐步重视应运而生的一门高新技术。

作为世界上最大的发展中国家,我国在实现经济快速发展的同时,把可持续发展上升到国家战略的高度,郑重声明保护生态环境是我国的基本国策。我们看到:大到西部开发、城乡建设,小到企业规划、产品设计,首先考虑的都是环境、生态和可持续发展;绿色食品、饮料、医疗保健药品等无污染环保产品也成为消费的热点。因此,人们对污染的控制、对饮食、医药和工业用液的质量监测都提出了更多、更高的要求,迫切需要功能更强、使用更方便的分析方法和仪器。

液滴分析技术就是在这种环境下应运而生的一门高新技术。液滴分析技术指的是在一定测试系统条件下,在被测液体形成液滴的过程中,采用各种手段对被测液滴实施监测,以获得有关该被测液体的物理、化学特性参数,对液体进行定性和量化识别的技术。

液滴分析技术主要有以下几个特点^[1]:

第一,利用液滴分析技术只需要通过监测被测液体的液滴生长过程就可以直接或间接地同时测出液体的多种物理、化学特性参数,如:表面张力、折射率、浓度、黏度、吸光度、浑浊度、颜色、蒸发率、液体的化学成分和有关的液体电特性参数等等。如果采用传统的仪器分析方法,如电分析法、光谱分析法或分离分析法,则需要分别使用多种仪器,而且得到的数据相关性也不好,有的装置还很复杂,价格昂贵,使用不方便。

第二,通过液滴分析技术得到的“液滴指纹图”,可以作为鉴别两种液体细微差别的依据,由此可以用来鉴别液体的真伪,如:假酒、假药和假饮料等。

第三,液滴分析技术容易实现在线监测,可以用来监控液体生产的工艺环节。

第四,液滴分析方法无需任何化学试剂,不发生化学反应,因此没有二次污染问题,是一条设计“绿色仪器”的理想技术路线。

上述优点使得液滴分析技术在海洋污染监测、水资源保护、制药工艺、食品饮料及工业用液等所有涉及液体检测的领域中显现出无可比拟的应用优势。

目前,大部分的液体辨别,如名酒,名茶,还需要靠专业人员来品尝识别。液滴分析技术在监控液体生产,鉴别液体的真伪方面,有相当非常广泛的应用前景。如有作品问世,并推向市场,将会获得非常好的经济效益。

1.2 液滴分析技术的国内外发展概况

液滴分析技术最早可以追溯到一个世纪以前, Tate 等人就通过实验提出,液滴的体积(重量)与形成液滴的毛细管的直径成比例^{[2][3]}。此后,人们逐步认识到液体的某些特性与液体在一定条件下形成液滴的特性关系密切,例如,在一定条件下液滴的体积大小与液体的表面张力、粘度、浓度等特性有关,因此,出现了以测量液滴体积为基础的液滴分析方法。人们做了大量的实验并找到了有关液滴体积与液体特性参数之间的相互关系,例如, Harkins 等人于 1919 年提出了液体的边界张力与液滴的体积和形成液滴的毛细管半径关系为^[4] :

$$\gamma = VdgF / r \quad (1-1)$$

式(1-1)中: γ 为边界张力, V 为平衡状态下的液滴体积, d 为被测液体与周围介质的密度差异系数,简化时可用被测液体的密度 ρ 代替, g 为测量当地的重力加速度, r 为毛细管外圈半径, F 是经验修正系数。

1992 年,爱尔兰的 McMillan 博士等人提出了光纤液滴分析的实验方法^[5] (FDA: Fiber Drop Analyzer),其原理是通过两根插入液滴的光纤分别将光导入液滴并获取经过液滴反射、吸收后的光信号,由此得到接收光强随时间变化的曲线,它反映液体的多种特性且在确定条件下具有唯一性,称为“液滴指纹图”(FDT: Fiber Drop Trace)。

McMillan 博士将光纤技术用于液滴分析是液滴分析技术的一个里程碑。由于光纤的特殊传光本领,使得光纤液滴传感器可以在液滴内部探测液体的特性参数,从而增加了揭示液体内在特性的手段。对于液滴指纹图的研究,例如,在规律机械振动情况下信号的变化,以及利用液滴指纹图对液体进行识别等方面,也有相应的研究报道^[6]。

在国内,液滴分析技术在各科研机构中也是得到充分重视和发展,以下仅是作者查到的液滴分析技术在国内的获专利情况^[7]:

可分离式光电液滴传感器.2002.天津大学

基于液滴体积的光学图像液滴分析装置.2002.天津大学

基于液滴体积的光谱液滴分析系统.2002.天津大学

基于液滴体积的光电分析装置.2002.天津大学

液滴测量方法及装置 .2004.上海大学(只测量体积)

液滴的光敏计量方法及装置.2006.上海大学(只测量体积)

液滴的超声计量方法及装置 .2006.上海大学(只测量体积)

红外悬浮液滴表面张力测定仪.1997.西北工业大学(只测量表面张力)

在这些液滴分析技术中,值得着重提出的是由天津大学的裘祖荣教授提出的基于光纤、电容的液滴分析方法。它只需要通过监测被测液体的液滴生长过程就可以直接或间接地同时测出液体的多种物理、化学特性参数,如:表面张力、折射率、浓度、黏度、吸光度、浑浊度、颜色、蒸发率、液体的化学成分和有关的液体电特性参数等等。本文研究的液滴分析技术就是基于这种方法不断发展而来的。

1.3 光纤、电容液滴分析技术概述

光纤液滴分析技术是从光学角度出发,在液滴形成过程中获得被测液体的特性,它不能直接测出液滴的体积。天津大学的王春海博士等人于1999年提出了电容液滴分析的方法,由滴头和环形极板构成特殊的电容传感器,将液滴生长过程中的体积变化转变成电容传感器电容量的变化。通过电容液滴分析方法可以获得任意时刻的液滴体积值,其前提是被测液体的介电常数已知或者可以实时测量获得。

基于光纤液滴分析技术和电容液滴分析技术,天津大学的裘祖荣博士提出了“基于体积的液滴指纹图”,它表示的是光纤接收端的光强信号随液滴瞬时体积变化的曲线。该表达方式解决了以时间为基准的液滴指纹图受供液系统流量稳定性影响的难题,排除了液滴生长速度和液体挥发性对液滴指纹图的影响,既提高了测量的重复性,也提高了液滴指纹图的可比性。同时,光纤、电容液滴分析技术使液滴分析涉及了被测液体更多的特性,从而能够更全面地分析、鉴别被测液体。

此外,随着科学技术的不断发展,越来越多的新技术、新方法已经应用到液滴分析领域。越来越多的新技术、新方法已经应用到液滴分析领域。利用CCD图像技术可以通过摄像的方法直接记录液滴生长过程中的轮廓变化情况,通过图像处理系统实时采集、存储图像并进行边缘提取,最后根据液滴的轮廓边缘计算出液滴的体积。

将光谱分析技术应用到液滴分析中,采用光纤或者微型几何光路,将作为信号光源的红外光导入液滴,把接收端采集到的光信号用快速傅立叶变换等方法进行光谱分析,可以得到被测液体的化学成分信息。将光谱液滴分析技术与光纤、电容、图像液滴分析技术进行融合,使得液滴生长过程所表现的物理、化学特性

可以同步实时地检测出来，并且还能够建立包含光强信号、液滴体积信号、光谱信号的“三维液滴指纹图”，这将使液滴分析技术的鉴别能力也提高一个台阶。

而随着嵌入式系统日新月异的发展与普及应用。将嵌入式系统移植入液滴分析仪器，将液滴分析仪器向小型化、便携式发展。也成为液滴分析仪器的新思路。

1.3.1 光纤电容传感器

光纤液滴传感器的工作原理是由光源发出的光，经过输入光纤导入液滴；光线在液滴内部经完全内反射（TIR: Total Internal Reflection）、透射及液体吸收等作用，部分进入输出光纤作为信号传出。这部分传出光的光强度变化，包含了液滴的物理、化学综合特性信息。

光纤液滴传感器的结构形式如图 1-1 所示，输入、输出光纤斜向插入，被测液体顺着供液毛细管横向从端面流出，形成液滴。

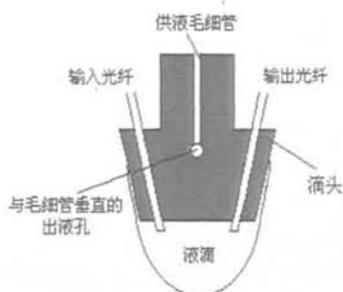


图 1-1 光纤液滴传感器

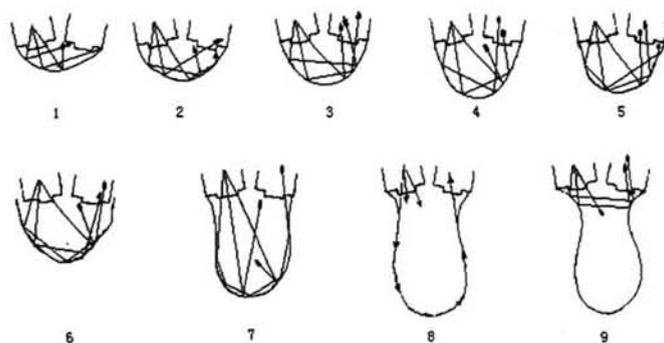


图 1-2 液滴不同生长时刻输入、输出光纤的传光情况

从图 1-2 可以看出，在时刻 1、2 情况下，输入光纤的光经液滴内表面反射后几乎不能进入输出光纤接收端，所以图 1-3 上 1、2 时刻的信号值也几乎等于零。在图 1-2 中 3、8 时刻之间，由液滴轮廓和大小的变化引起光反射角和光程

的变化,使得进入接收光纤端面的光强信号在图 1-3 中出现一个由波峰到波谷的曲线;其中 3、4 时刻由于液滴轮廓形状形成了有利的反射角和较短光程,所以这时的信号值达到最大。在时刻 9 液滴即将分离,反射光路突然变化,光程变短,传光时间也变短,所以在图 1-3 中出现了一个尖峰值。显然,由于输入、输出光纤的数值孔径和位置固定不变,接收光纤收到的信号是随不同时刻液滴生长情况的变化而变化的。

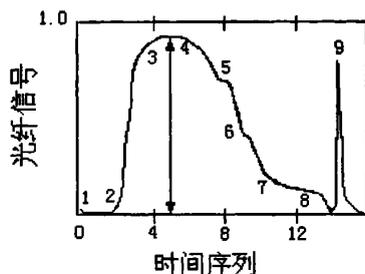


图 1-3 一个液滴周期内液滴不同生长时刻的光纤信号

实验证明,在一定的测试系统条件下,经过液体液滴的光信号,随液滴生长而变化的记录曲线是唯一的。因此,称这样的曲线图为液体的“液滴指纹图”。

1.3.2 电容液滴传感器

电容液滴分析方法是利用液体的电学特性,对液滴形成过程的电学量进行监测。通过电容液滴传感器,由环形极板与滴头共同形成一个特殊的电容器,如图 1-4(b)所示。

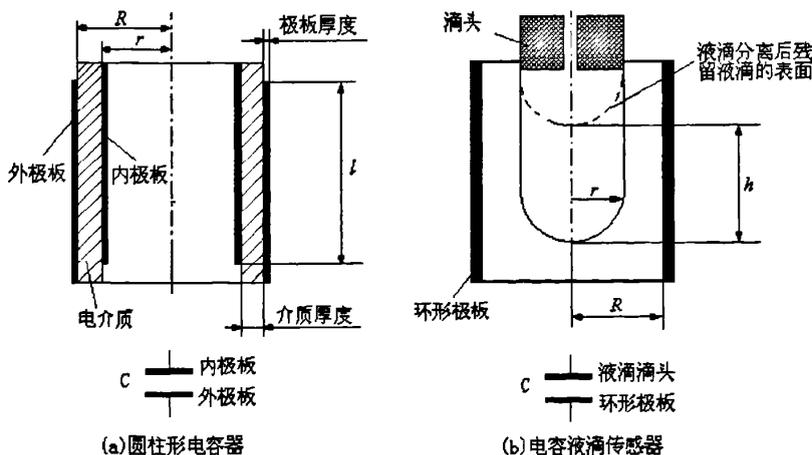


图 1-4 圆柱型电容器与液滴电容传感器的比较

图 1-4 (a) 是平板电容传感器用于液滴分析的情况。液滴位于两平行平板极板之间, 液滴的生长变化相当于极板之间介质的复合介电常数在变化, 从而引起电容量的变化。但实际上由于液滴的特殊形状, 只有极板中心的部分靠近液滴, 所以液滴生长的全部变化过程只能引起大约 1.5% 的电容量变化。作为传感器这样的信号显然是太微弱了。为了提高电容量随液滴生长变化的百分率, 可以缩小极板的面积, 但这样做也同时会使总的电容量减少; 要保持容抗不变, 就必须使传感器在非常高的频率下工作, 这一措施又受到电子元件的频率响应速度的限制。所以, 平板电容作为液滴分析传感器并不理想。

在图 1-4 (b) 中, 环形极板与滴头 (包括液滴) 在水平截面上的间距相等。液滴的生长变化既可以看作是柱状滴头电极长度的变化, 也可以认为是电容器极间复合介质的变化, 这将取决于被测液体是否为电的良导体。这种形式的电容传感器避免了上述平板电容传感器的缺点。

由于电容液滴传感器受到尺寸和边缘效应的影响, 准确数学模型的建立是十分复杂的。为简化起见, 将电容液滴传感器作如下假设: (1) 假设液滴为良导体; (2) 假设液滴在生长过程中只沿其回转轴方向变化, 且液滴底部曲面形状不变; (3) 忽略边界效应。

简化后的模型如图 1-4 (b) 所示。这样, 液滴在从残留液滴到分离全过程的电容变化可近似地看成是一个同轴圆柱电容器的电容变化。其电容量的计算推导如下:

假设滴头 (包括液滴) 和环形极板分别带有电量 $+q$ 和 $-q$, 电荷是均匀分布的, 每单位长度上的电量为 λ ($C \cdot m^{-1}$), 有 $q = \lambda \cdot l$, l 为极板长度 (m)。在液滴和环形电极之间、离开圆柱轴线距离为 r' (m) 点处的场强 E ($N \cdot C^{-1}$) 为:

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_a r'} \quad (1-2)$$

中 ϵ_0 是真空介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ ($C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$); ϵ_a 为空气的相对介电常数, 无量纲。

根据场强和电位梯度的关系: $E = -\frac{dU}{dr'}$ (1-3)

得:
$$dU = -E dr' = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_a r'} dr' \quad (1-4)$$

设液滴表面和环形电极内表面的电位分别为: U_A 和 U_B , 由积分得:

$$\int_{U_A}^{U_B} dU = -\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_a} \int \frac{dr'}{r'} \quad (1-5)$$

$$U_A - U_B = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0\epsilon_a} \ln \frac{R}{r} \quad (1-6)$$

$$C = \frac{q}{U_A - U_B} = \frac{\lambda \cdot l}{U_A - U_B} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_a l}{\ln \frac{R}{r}} \quad (1-7)$$

根据上述结果，在液滴生长过程中，电容液滴传感器的电容变化可近似表达为：

$$\Delta C = \frac{2\epsilon_0\epsilon_a\pi h}{\ln \frac{R}{r}} \quad (1-8)$$

式中 ϵ_0 为真空介电常数， ϵ_a 为环形电极与液滴之间的空气的相对介电常数， h 为液滴底部至残留液滴底部的高度（ h 随液滴生长过程而变化）， R 为环形电极的内圆半径， r 为液滴半径。

根据图 1-4 (b) 的简化模型，液滴的瞬时体积为 $\Delta V = \pi r^2 h$ ，则可得电容增量 ΔC 与液滴体积增量 ΔV 的关系为：

$$\Delta C = \frac{2\epsilon_0\epsilon_a}{r^2 \ln \frac{R}{r}} \Delta V \quad (1-9)$$

$$\text{令 } k_0 = r^2 \ln \frac{R}{r} : \quad (1-10)$$

$$\text{有：} \quad \Delta V = \frac{k_0}{2\epsilon_0\epsilon_a} \Delta C \quad (1-11)$$

在实际测试中，由于多数被测液体都是电的非良导体，而且有关电容传感器的数学模型也与实际状况有偏差。因此直接用式 (1-11) 误差会比较大。所以通过实验将式 (1-11) 修改为：

$$\Delta V = \frac{k_1(k_2\epsilon_1 + \epsilon_a)}{\epsilon_0\epsilon_a(\epsilon_1 - \epsilon_a)} \Delta C \quad (1-12)$$

式中， k_1 ， k_2 是与滴头的几何尺寸有关的修正系数，当滴头半径取为 $r = 3\text{mm}$ 时， $k_1 = 11.23 \times 10^{-6} \text{m}^2$ ， ϵ_0 为真空介电常数， ϵ_1 为被测液体在实测环境下的相对介电常数。

1.4 本课题的研究内容与意义

随着液滴分析仪器的不断深入发展和前人工作成果的不断积累，将液滴分析仪器应用于实际鉴别液体特征的要求也应运而生。“9.11”事件之后，中外的民航部门都加强了安检力度。目前的方法是让携带饮料的旅客打开盖子，检查是否可以饮用。效率不高，而且并不能保证检查的可靠性。目前如何能鉴别出外观特性（比如颜色、折光度等）相同液体的需求已经产生。本课题旨在提高现有光纤、电容液滴分析仪器的可靠性和实用性，研究提高液滴分析仪区分物理特性接近的

液体的能力。

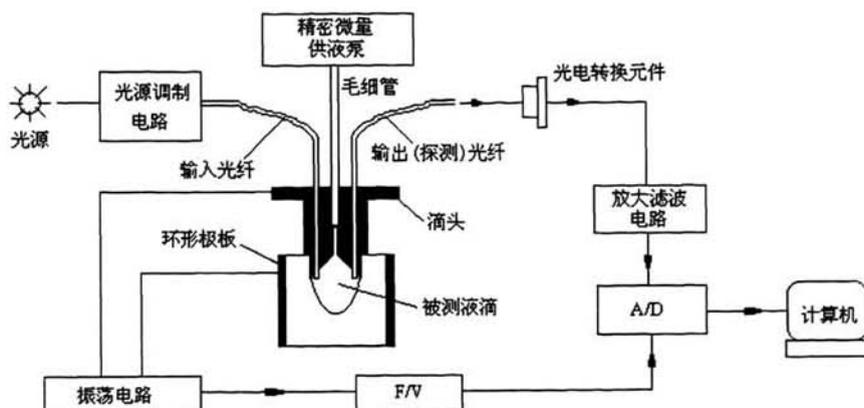


图 1-5 所示为光纤、电容液滴分析仪器的原理框图

其中，精密微量供液泵采用 Razel 公司的 A-99 供液泵泵可以由注射泵上的开关控制开关和流速。如图 1-6 所示。这样的供液系统可以达到流速稳定、流量微小的流速，容易形成饱满、形状均匀的液滴。此外，在滴头底端面设计成倒 90° 角，同样是为了增强液滴的自湿润性能，达到饱满、形状均匀的液滴。



图 1-6 A-99 供液泵

本课题研究的具体内容包括：

- (1) 完成了嵌入式系统的设计。
- (2) 分别用 Visual C++和 QTE 完成了鉴别细微差别液体的软件设计。
- (3) 完成了液滴识别程序的嵌入式系统移植。
- (4) 用实验的方法检验了程序的可靠性。

第二章 信号调理电路的设计

测试系统的传感部分是将被测量的变化过程转化为与之有确定对应关系的物理量的变化,为了将此信号输入计算机作信号的分析 and 处理,或者用此信号推动显示、记录仪器或控制器,仍需作进一步的信号变换。本章对这两路信号的调理电路进行设计分析。

2.1 光纤信号的调理电路

2.1.1 光纤调理电路的原理

在原先的光纤调理电路中,由于光源无法与输入光纤完全耦合,导致有环境光进入液滴分析仪器。为了排除环境光对系统的影响,需要采用调制解调的原理,首先将光源调制到高频,然后,让信号经过一个包含高通滤波器、低通滤波器的放大滤波电路,高通滤波器阻止环境光的干扰,通过高频载波信号;经检波后,低通滤波器再将高频载波滤掉,最终解调出反映液滴变化的有用信号。

如今选用美国 Ocean Optics 公司生产的 LS-1 型卤钨光源,它是一种多用途的白光光源。并且具有 SMA905 接口,很容易和系统中的输入光纤耦合上。这样就很好的屏蔽掉了环境光的影响^[8]。

改进后的光纤调理电路的原理如图所示:

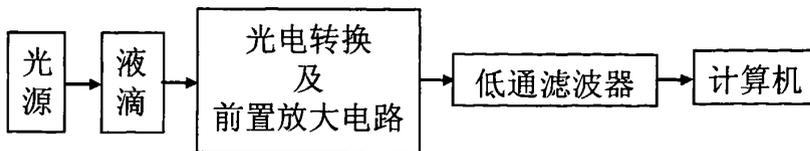


图 2-1 现在的光纤调理电路原理框图

2.1.2 光电转换以及前置放大电路

将光电二极管电流转换为可用电压的方法是用一个运算放大器作为电流-电压转换器(如图 2-2 所示)。二极管偏置由运算放大器的虚地维持在零电压,短路电流即被转换为电压。

具体的电路实现如图 2-2 所示。

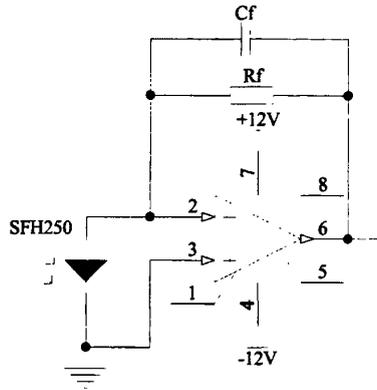


图 2-2 光电二极管前置放大电路

2.1.3 低通滤波电路

在实际的测量中，由于前级电路电路产生的抖动等问题，致使光电二极管前置放大电路得到的电压信号有比较明显的毛刺，这些频率很高的干扰信号使得液滴指纹图不够清晰，直接影响测量准确性，为了改善上述问题，在光电二极管前置放大电路后面增加了低通滤波电路^[9]。

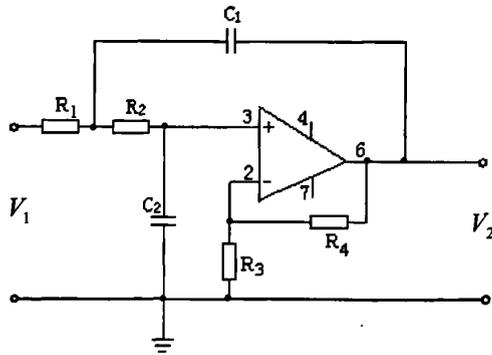


图 2-3 低通滤波电路

2.2 电容信号处理电路

2.2.1 电容信号处理电路的原理

电容信号处理电路是将液滴生长过程中电容传感器电容量的变化转换为

电压信号。然后经过 A/D 转换为数字信号送入计算机，得到代表液体体积变化的信号。

电容测量常见的方法有调幅法、调频法、充放电激励法、交流运算放大器法等。而由于液滴分析仪中的电容传感器电容变化量很小，只有零点几个 μF ，使得液滴分析仪器中电容传感器的电容量变化十分容易受到外界干扰。在这几种常见的电容测量方法中，交流激励微电容测量信号的信噪比和稳定性是最好的。因此在这里采用的是交流放大器法。原理框图如图 2-4 所示。

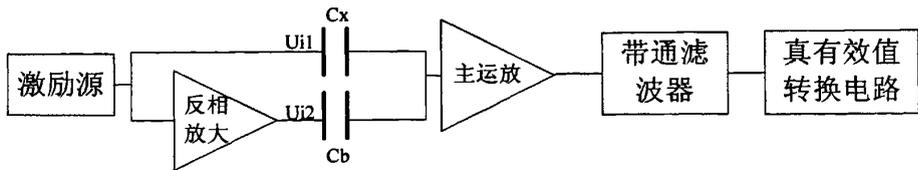


图 2-4 电容信号处理电路原理框图

2.2.2 主放大电路的设计

整个测量系统中，主放大器是最关键的部分，主放大器性能的好坏，直接关系到整个测量电路的线性度和精度。本文选用的是 ADI 公司生产的高速运算放大器 AD8065，其主要参数如下：输入阻抗 $1000\text{ G}\Omega$ ，开环增益 114 dB ，压摆率 $180\text{ V}/\mu\text{s}$ ，单位增益脉宽为 145 MHz ，偏置电压最大为 1.5 mV 。

这里使用 T 型网络的作用是为运算放大器的直流偏置电流提供一个通路，防止运算放大器输出漂移而饱和。

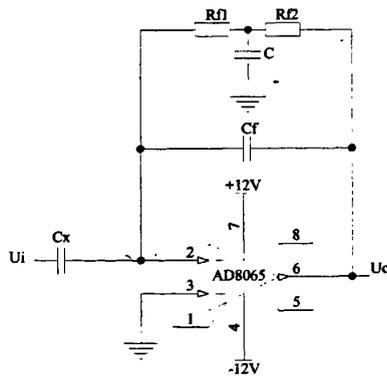


图 2-5 电容测量原理图

2.2.3 激励源电路的设计

在这里,激励源电路的波形发生芯片采用美国 MAXIM 公司推出的一种精密波形发生芯片 MAX038^[10]。它比以前的通用函数发生器 8038 系列从频率范围、幅度稳定性及使用的方便性等方面都有提高,可以满足后面的测量电路的基本要求。

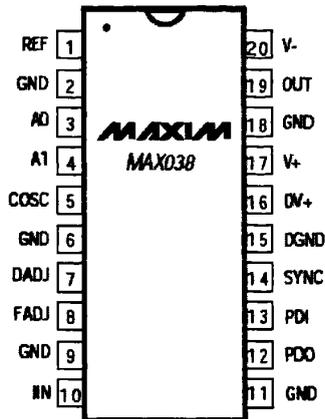


图 2-6 MAX038 的管脚图

MAX038 的管脚如图所示,其定义为:1 脚为内部 2.5V 电压基准输出;2、6、9、11、18 为接地引脚;3、4 为波形输出定义脚。表 2-1 定义了输出波形的不同设置,将 A_1 置于高电平,则无论 A_0 是高电平还是低电平都可以得到我们需要的正弦输出。

表 2-1 MAX038 输出波形的定义

A_0	A_1	波形
×	1	正弦波
0	0	方波
1	0	三角波

5 脚为外接电容连接端;7 脚为占空比调节输出端;8 脚为频率调节输入端;10 脚为频率控制端;12、13 脚分别为相位输出脚和相位参考时钟输入脚,如果不使用,二者均应与地连接;14 脚时钟同步引脚,通过连接设置,允许内部振荡器与某个外部信号同步,该引脚兼容 TTL 和 CMOS 电平,如果不使用,该脚应悬空;15 脚为数字地;16 脚、17 脚和 20 脚分别为数字电源+5V 输入、+5V 电源

输入和-5V输入；19脚为波形输出脚。

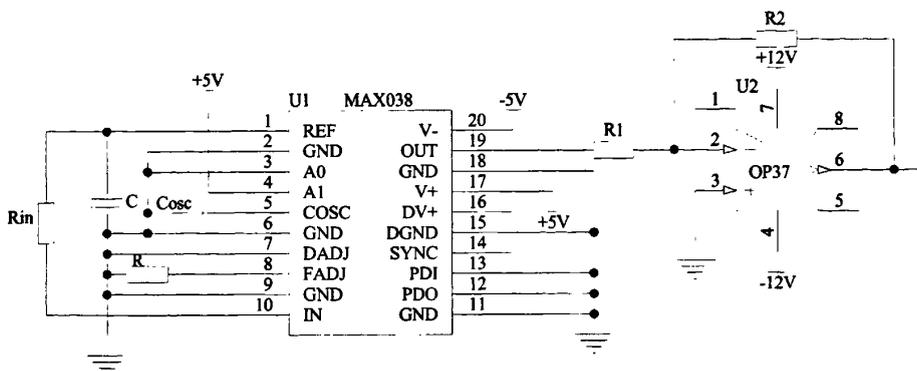


图 2-7 激励源电路原理图

2.2.4 消除本体电容电路与带通滤波电路

由于在实际的液滴分析仪器中，电容信号值的变化量是非常小的，为了提高测量精度，需要抵消掉它的本体电容(测量前的初始电容)。具体的做法是：增加标准补偿电容 C_b ，原则上是给 C_b 的一极加与 U_{i1} 同频反相的正弦信号 U_{i2} ，从而抵消掉本体电容。如图 2-8 所示：

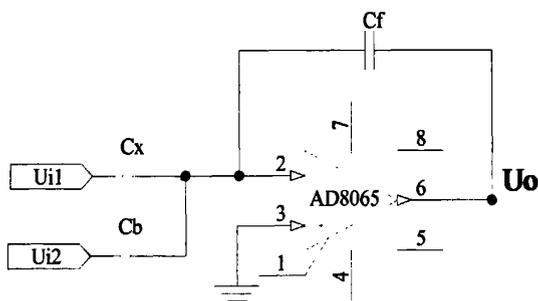


图 2-8 消除本体电容电路

在实际电路调试中，取 $U_{i2} = -0.75U_{i1}$ ，实现方法如图4-10所示，选择速度比较高的运算放大器OP27反相放大得到。 $C_b = 1pF$ ， $C_f = 1pF$ 基本消除了本体电容的影响，根据计算可知，本体电容大约为0.75pF。

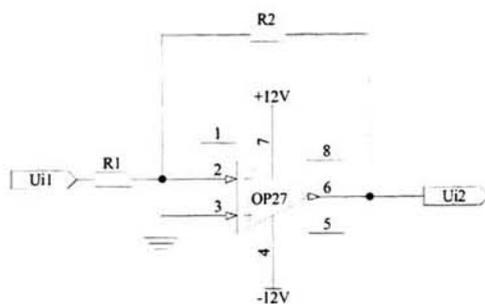


图 2-9 两路同频反相信号源产生原理图

从主放大电路输出端得到的信号是消除本体电容后的幅值跟被测电容值成正比的正弦信号，由于环境中噪声的影响，电容传感器会引入一些干扰，使得被测信号不够干净，如图 2-10 所示，由于主运放输出的频率跟激励源的频率相同，为 11.5KHz，因此，在主运放后面加一个带通滤波器来滤掉干扰信号

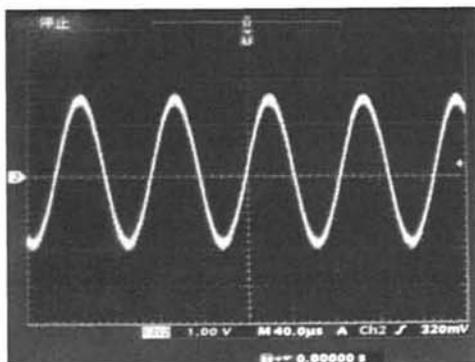


图 2-10 带通滤波器的输入信号

带通滤波器的连接形式有多种，最常用的有压控电压源带通滤波器和无限增益带通滤波器，这里选用的是无限增益多路反馈带通滤波器。无限增益带通滤波器的优点是比压控电压源带通滤波器用的元件少，特性稳定，输出阻抗低^[11]。

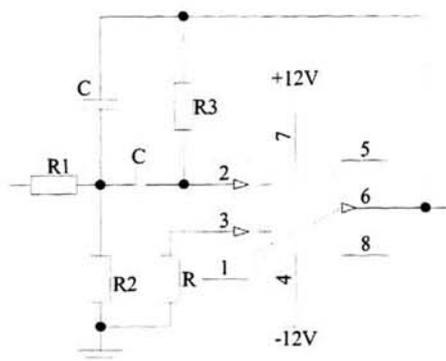


图 2-11 带通滤波器电路原理图

经带通滤波器后输出的波形在示波器上显示如图 2-12 所示，与带通滤波器输入端的信号 2-10 相比有明显的改善。

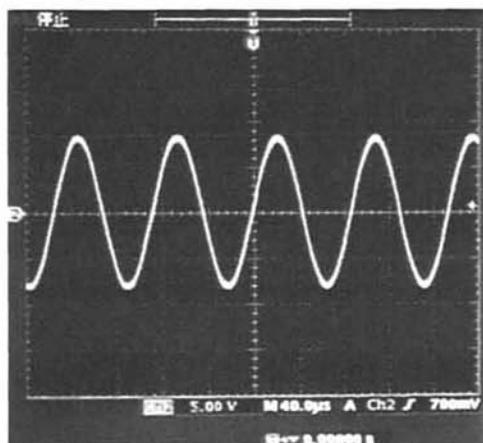


图 2-12 带通滤波器的输出信号

2.2.5 真有效值转换电路

主放大电路输出的测量信号为交流信号，需将其转换为直流信号后才能进行后续处理。这里采用美国 ADI 公司生产的 AD637 芯片作为真有效值转换部分的工作芯片。与传统的整流电路相比，它的集成度高、精度高，而且使用方便。AD637 能计算复杂输入信号的有效值并且给出一个与之等效的直流电平，波形的有效值比平均值更有用，因为它和信号的能量有关系，而且随即信号的有效值与它的方差有关。

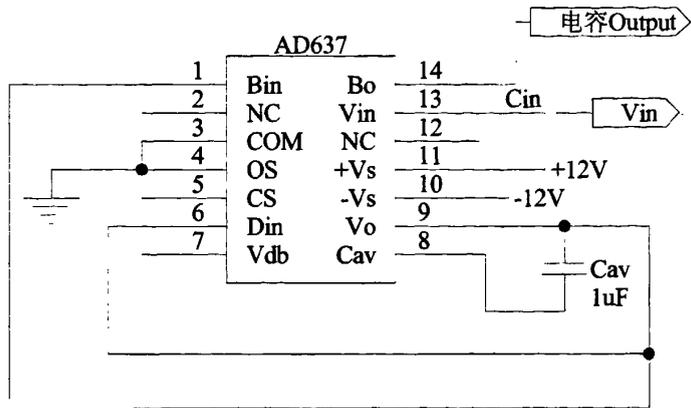


图 2-13 真有效值转换电路原理图

第三章 数据处理分析与典型液滴指纹图分析

液滴指纹图是被测液体的综合特征数据库。由于测量环境的影响和液滴本身物理条件的不恒定（如不同温度、不同压力下的液滴物理特性会有所变化，在液滴指纹图上也会有所反映），在进行数据对比之前，对于采集到的数据进行了预处理分析的必要性是显而易见的。

本章利用 matlab 强大的数据和图像的处理能力，对于采集到的原始数据进行了绘制液滴指纹图、去噪、归一化、求极大极小点等一系列处理。为第五章的对比工作和软件编写工作奠定了基础。

3.1 基于液体体积的指纹图数据

运用光纤、电容液滴分析系统，在液滴生长过程中监测光纤与电容的信号变化。图 3-1 (a) 所示为光纤液滴信号。它是以采样序列为横坐标，纵坐标是由接受光纤接收到光信号经过光电转换与电路处理后得到的电压值。图 3-1 (b) 所示为同时获取的电容信号。横坐标也是采样序列。

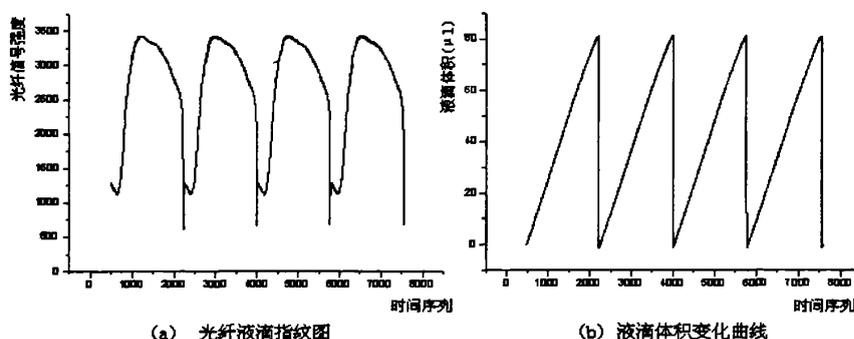


图 3-1 以采样序列为横坐标的光纤、电容液滴指纹图

由图 3-1 得知，在测量过程中，被测液体一共形成了 4 滴完整的液滴，光纤、电容信号随着液滴的生长过程而变化。在这种情况下，测量过程中供液泵以恒定的速度供液，液滴体积在液滴生长周期内随着线性增大而增大。因此，电容信号与时间应该是线性关系。图 3-1 (b) 也验证了这一结果。

由于光纤液滴指纹图反映的是光信号随时间变化的规律，这实际上意味着液

滴生长速度不仅要慢而且要非常稳定，以达到所谓准平衡状态，在此状态下所测量的结果才能反映被测液体的物理、化学性质。而液滴生长速度本质上是由供液系统对毛细管流量的定量控制决定的，因此这无疑在实践中对供液系统的设计和制造都提出了非常高的要求。如果液滴生长速度不能精确控制在要求范围内，那么就无法保证测量的重复性和指纹图的唯一性^[12]。如图 5-2 所示。

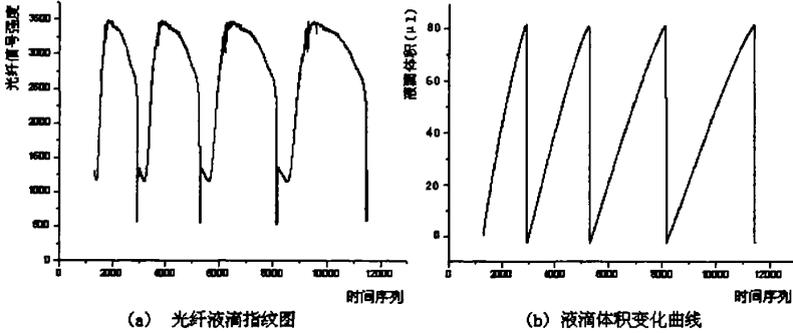


图 3-2 供液速度逐渐变慢时获取的信号图线

为了解决这个问题，天津大学的裘祖荣博士提出了“基于液滴体积的液滴指纹图 (VFDT: Volume-based Fiber Drop Trace)”的表达方式，它表示的是光纤接收端的光强信号随液滴瞬时体积变化的曲线。该表达方式不仅解决了以时间为基准的液滴指纹图受供液系统流量稳定性影响的难题，而且排除了液滴生长速度和液体挥发性对液滴指纹图的影响，提高了测量的重复性。使得将液滴指纹图作为鉴别液体的“身份标识”成为可能。

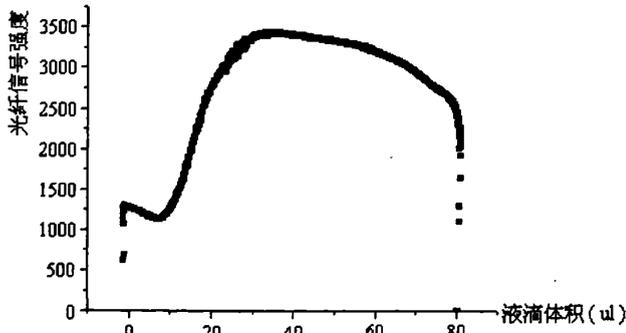


图 3-3 供液速度逐渐变满时液体的基于体积的指纹图

这一结果可以在理论上做如下定性解释：不考虑那些被液体吸收和透射的光，输出光纤所接收的光信号，即液滴内部经完全内反射后传出的光，只与液滴

的瞬时形状（或体积）有关——因为这决定了光程；而与花费多长时间形成这个瞬时形状无关。因此，液滴指纹图当然就不受液滴生长速度，或者说供液速度的影响了。

3.2 实验数据处理

为了使得测得的液滴指纹图具有可比性并且便于对比，在进行具体的数据分析处理之前，需要对测得的原始数据进行预处理。这就包括归一化处理、滤波去除粗大误差处理和光纤、电容信号曲线拟合三个部分。下面就对他们进行一一介绍。

在这里，选用 MATLAB 作为数据处理的工具。不仅因为 MATLAB 拥有丰富的函数资源，而且又因为它拥有简洁并且复合人们思维习惯的编程语言，可以十分轻易的完成寻求最大值、极大值，求取液滴总数 n ，滤波处理、求取平均值，并作线性插值处理等这些功能。

如今的 MATLAB 还拥有与 C 语言的接口，可以被 C 语言程序调用，也可以调用 C 语言程序。这也很好的弥补了 MATLAB 程序运行慢的瓶颈。本课题最初的构想就是在此基础之上的。

此外，因为液滴指纹图最终是需要拟合成为 BMP 图片文件，而 MATLAB 的绘图功能十分方便，在这里，我们只需要用到其中很简单的一部分就可以完成我们的全部数据处理和图像处理工作^[13]。

3.2.1 数据采集

Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) 是一种基于图形语言的开发环境。Labview 编程简单方便，界面形象直观，并且拥有与传统编程语言的许多相似之处，诸如相似的数据类型、数据流控制结构、程序调试工具等等。数据采集作为 Labview 的核心技术之一，也是 Labview 与其他编程语言相比的绝对优势。

因此，数据的采集阶段，我们选用 Labview 作为数据采集的平台。数据采集系统包括数据采集硬件、驱动程序和数据采集函数三个部分组成。在这里，采集硬件我们选用 PCI-9113A 型的数据采集卡。

数据采集的程序界面和流程图如图 3-4(a) 和 3-4(b) 所示

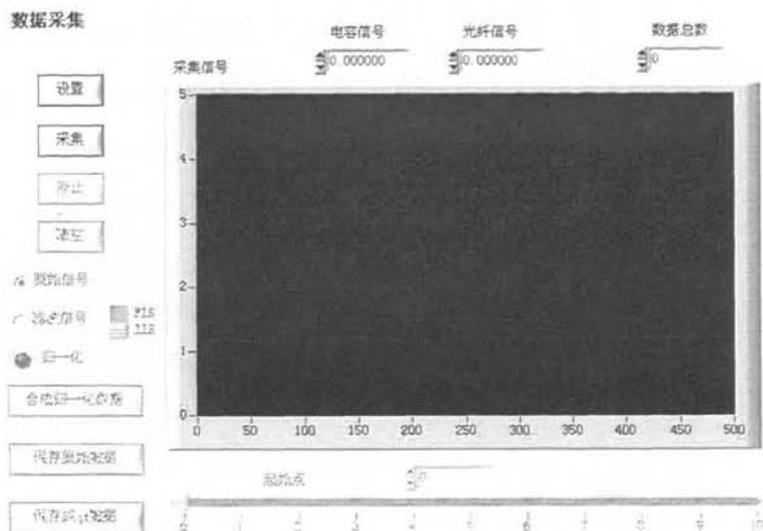


图 3-4(a) 数据采集的平台

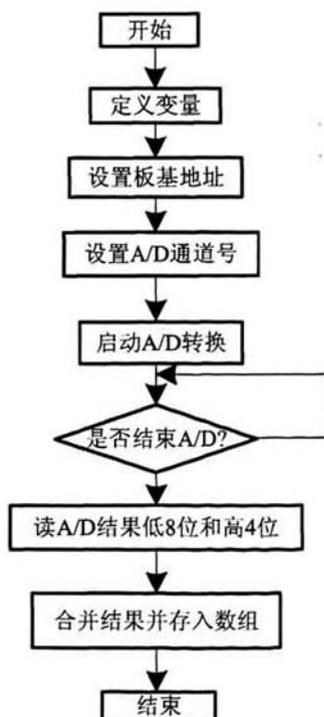


图 3-4(b) 数据采集流程

数据采集结束时，将原始数据保存为.txt 文件以供后续部分做数据处理分析。因为在采集数据时，为了充分采集到液体的特征，每次都会使得样本充分的大（数据总数>500），因此在这里只是展示出一小部分的数据。

表 3-1 某次测量中纯水的部分原始数据(单位: V)

503	
5. 205078	0. 004883
5. 229492	0. 004883
5. 234375	0. 009766
5. 249023	0. 009766
5. 244141	0. 004883
5. 268555	0. 004883
5. 253906	0. 004883
5. 268555	0. 004883
5. 253906	0. 009766
5. 273438	0. 009766
5. 302734	0. 009766
5. 292969	0. 009766
5. 288086	0. 009766
5. 302734	0. 009766
5. 307617	0. 014648

其中，第一行数据表示本次测量的总共采集点数。第一列表示电容信号值，第二列表示光纤信号值。

3.2.2 数据归一化处理

所谓归一化实质上就是按时间周期变化的光纤、电容信号按周期截断，然后在时间轴上平移，将若干周期的信号合成一个周期。每个周期对应了某个特定的时间里采集到的一个液滴生长过程的信号变化。再通过线性插值的方法使归一化后的点数等于预定值。每种液体指纹图经过这样的归一化处理之后都对应一个液滴的图形，且点数相等，不但可以清晰直观地反映液滴特征信息，而且更重要的是使不同液体具有可比性。如果不做归一化的处理，那么合成的指纹图是若干滴指纹图叠加在一起的图形，给以后的比对处理带来了困难。因此，液滴的归一化是十分必要的处理过程。

因此，在归一化处理的过程中，实际是分为三个步骤。

第一步，确定液滴的生长和滴落点。由图 3-5 可以看出，在确定液滴生长点和滴落点时，可以以电容信号的原始数据作为参考。即通过找寻电容极值的方法来确定。因为电容是在监测液体生长过程中体积的变化。在数学上，极值点可以通过确定函数导数为零的点来求取。然而，在液滴指纹图中，往往没有导数为零的点，尤其在电容液滴指纹图中，这种方法不可行。

在这里，我们可以运用先找最大值的方法来确定极大点（极小点也同理）。即首先求取整个液滴指纹图的最大值 MAX（或最小值），然后给出一个阈值水平 α （比如 $\alpha = 5\%$ ），那么落在阈值之内的点就可以作为极大值（或极小值）。即判定条件为：极值必须与最大值很接近。如图 3-5 所示。表达为数学公式为：

$$\max Data - c(\max Num[i]) < \max Data \times \alpha \quad (3-1)$$

$$c(\min Num[i]) - \min Data < \min Data \times \alpha \quad (3-2)$$

为了方便，可以利用 matlab 的文本编辑器写一个脚本 M 文件，这样就不需要每次都编写程序。只需打开文件，运行即可。

首先建立一个以电容信号为第一列，光纤信号为第二列的 2×1 矩阵 Data，并用 fmin 命令找出数值上的极小点。程序代码如下：

```
load D Data      %将 Data 赋值给变量 D
Dax=Max(D(:, 1)) %求取 D 的第一列最大值即电容信号的最大值
emax=fmax(Dax, Dax - Dax*5%, Dax + Dax*5%) %求取在最大值 ±5% 范围内的极大值
index=find(Data==emax) %求取极大值的位置点，同时也可得出液滴的滴数 n
```

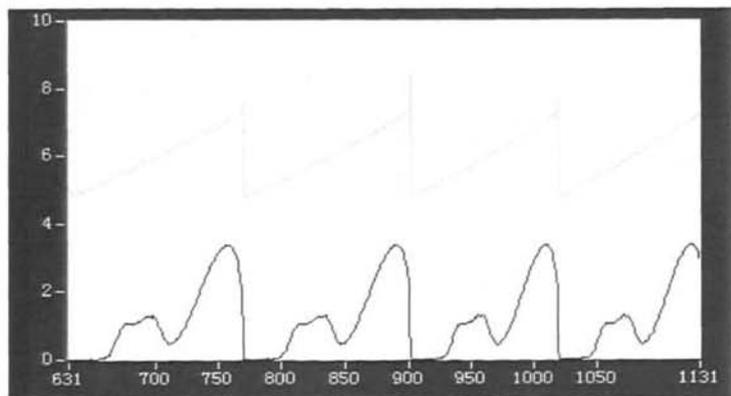


图 3-5 自来水的电容液滴指纹图和光纤液滴指纹图
(上面为电容信号，下面为光纤信号)

由图 3-5 也可以同时看出最大值与极大值的区别。

第二步，确定归一化参数 NP (Normalization Points)，将每一滴液体在时间轴上等分为 NP 份。然后利用线性插值的方法，通过每一个等分点相邻的测量点处的原始数据，计算出所有归一化等分点处的电容信号值和光纤信号值；若某一等分点恰好与采集点重合，则直接获取采集点处的数据。这里所说的“相邻的采集点”指的是把等分点与采集点在时间坐标上作比较后，处于等分点前、后的两个采集点。由 Lagrange 线性插值公式^[14]：

$$L(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} y_0 + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} y_1 \quad (3-3)$$

代入的 x_0 , x_1 值就可求出任意等分点 x 对应的信号值。

第三步，将 n 滴液滴在同一等分点处的数据作算术平均，得到最终的归一化的光纤信号值 $fNor$ 和电容信号值 $cNor$ 。

$$cNor = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} c(NorPos[i][j])}{n} \quad (3-4)$$

$$fNor = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} f(NorPos[i][j])}{n}$$

其中， $NorPos[i][j]$ 是液滴的位置。

经过以上步骤，得到了归一化的光纤、电容液滴指纹图。如图 3-6 所示

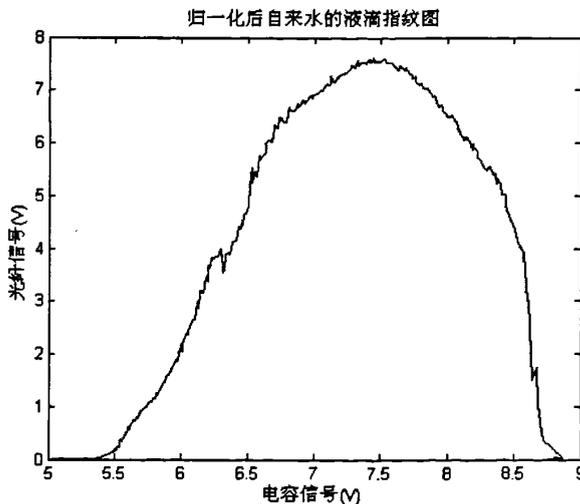


图 3-6 归一化后的水的液滴指纹图

3.2.3 去噪

由于图 3-5 中的图像不够平滑。而且在实际测量中,由于电路漂移等仪器本身因素以及液体本身因素等因素引起的不稳定因素也大量存在。而且,在数据传输的过程中,也会引起噪声。要去除这些噪声点,可以选用 MATLAB 强大的滤波工具箱。

在 MATLAB 中,工具箱提供了多个不同的方法来删除和减少图像中的噪声。不同的方法对应不同类型的噪声有不一样的效果。通常情况下,可以选用的方法包括:均值滤波,中值滤波和自适应滤波。而容易实现的两种滤波方式就是均值滤波和中值滤波。中值滤波与平均值滤波的相似之处在于,每个像素的值由输入图像中对应像素邻域内的值确定。不同之处在于,平均值滤波是根据输入图像中对应像素邻域内的像素值的均值来确定输出图像中对应像素的值,从而就可以消除孤立的噪声点。而中值滤波是由中值来确定的。因此,产生的模糊比较小,曲线也更加平滑^[14]。

中值滤波是一种非线性的信号处理方法,与它相对应的中值滤波器也就是一种非线性的滤波器。中值滤波一般采用一个含有奇数个点的滑动窗口,将窗口内的各点灰度值的中值来代替指定点(一般是窗口的中心点)的灰度值。对于奇数个元素,中值是指按照大小排序后,中间的数值;对于偶数个元素,中值是指排序后中间两个元素灰度值的平均值。

中值滤波最早就是应用于一维信号处理技术上(时间序列分析)的,如图 3-7(见下页)所示,它是用内含 5 个元素(1×5)的窗口对离散阶跃函数、斜坡函数、脉冲函数以及三角形函数进行中值滤波和均值滤波的示例。而基于体积的液滴指纹图中,光纤、电容信号都是基于时间序列分析的,因此在这里我们完全可以借助于图像处理中的中值滤波技术来进行液滴指纹图的去噪处理。

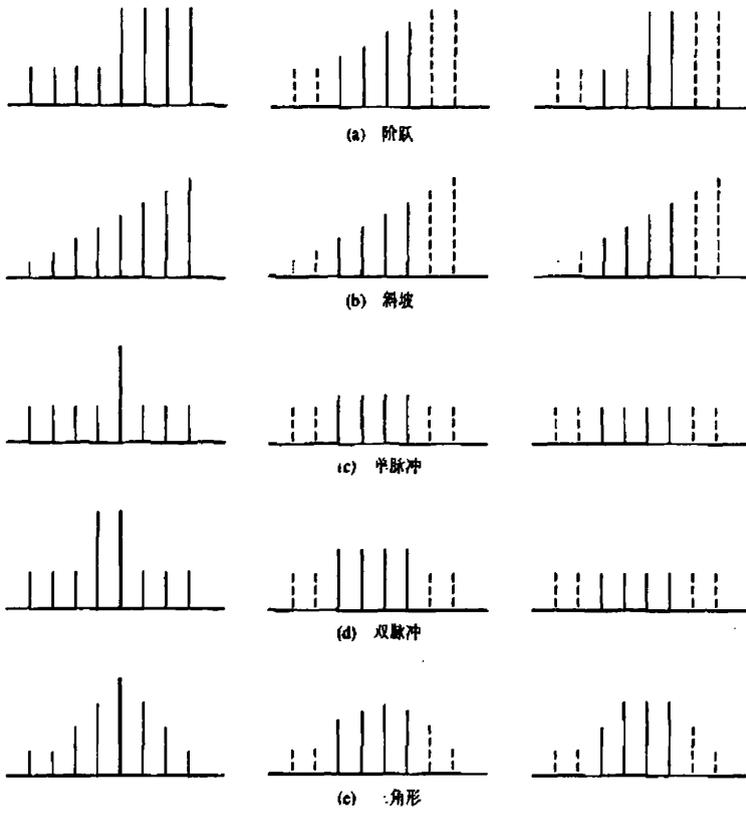


图 3-7 一维情况下的中值滤波和均值滤波

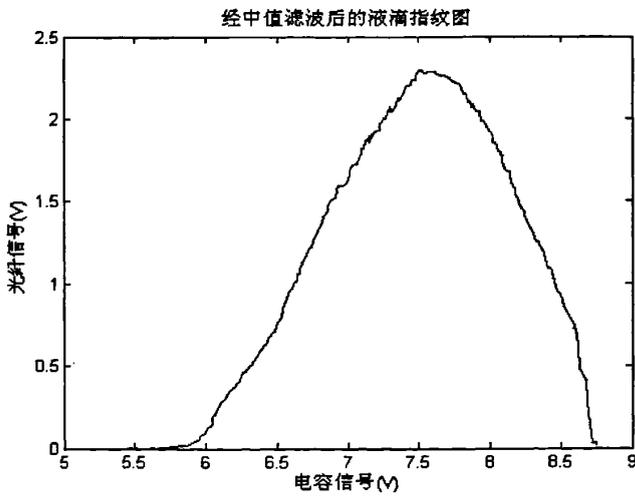


图 3-8 经过中值滤波后的纯净水的液滴指纹图

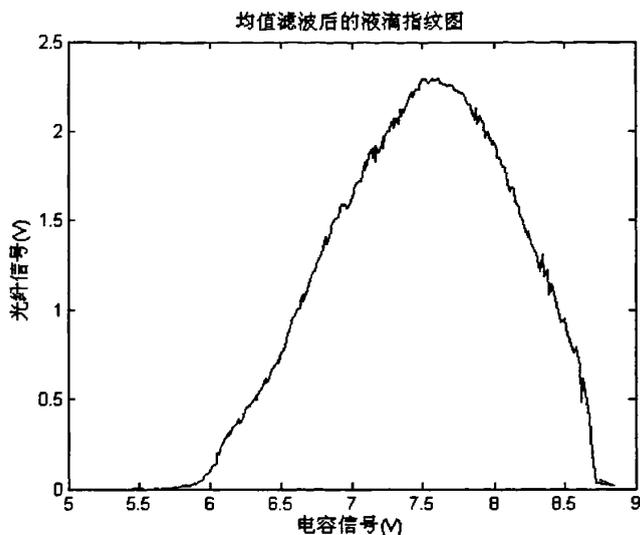


图 3-9 经过均值滤波后的纯净水的液滴指纹图

比较图 3-8 和图 3-9 可以看出，前者的处理效果更好，图像更加平滑。这是因为两种滤波器的原理所导致的结果——中值滤波是根据输入图像中对应像素邻域内的像素值的中值来确定输出图像中对应像素的值，从而就可以消除孤立的噪声点。而均值滤波是由均值来确定的。因此，中值滤波之后的图像产生的模糊比较小，曲线也更加平滑。

因此，本文之后出现的液滴指纹图都是基于中值滤波的去噪处理。

3.3 几种典型液滴指纹图的分析

液滴指纹图是集合了液滴滴落时的体积、生长过程的折光度以及导电性等等光学和电学特性的特征库。不同种类的液体拥有不同的指纹图，相同种类不同浓度的液体的液滴指纹图也是不一样的。凭借这一点，我们可以区分出不同种类的液体，并且可以区分出相同种类不同浓度的液体，并按照其浓度进行浓度标定和鉴别等相关处理。

在软件编写环节需要针对不同情况设计出不同的算法。而本小节所进行的研究正是为第五章对比鉴别软件的编写奠定了基础。

3.3.1 不同种类液体的液滴指纹图

在进行测量不同种类液体的实验之前，我们有必要对测量什么样的液体做一

下构思。首先，这种液体必须具有测量价值。比如水和纯净水、可口可乐与百事可乐，而对比酒精与白醋的这种测量就没有什么测量价值。其次，液体必须满足光纤、电容液滴分析仪器的测量条件。比如在透光度、导电性、粘稠度以及有没有腐蚀性等等方面的要求。最后，还需要考虑到测量所使用的液体的经济性。

最终，我们决定了以下几组液体的实验：

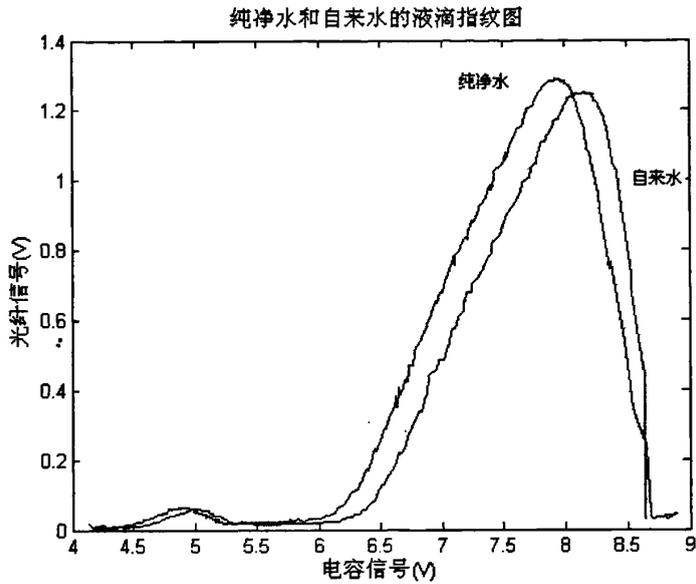


图 3-10 自来水和纯净水的液滴指纹图

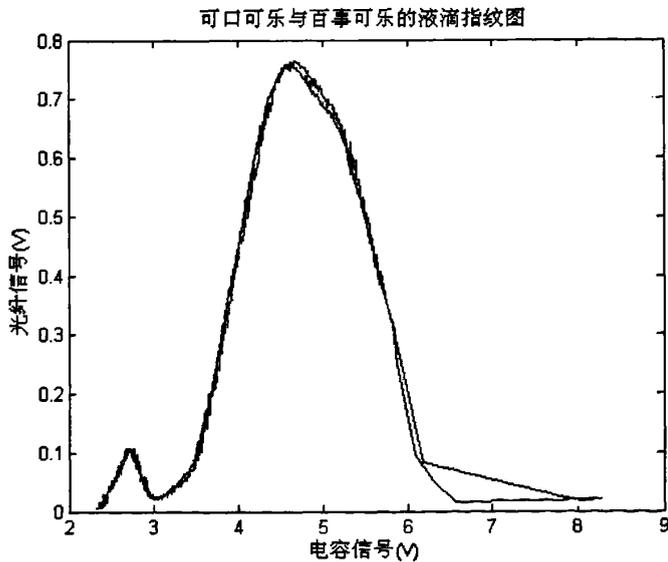


图 3-11 可口可乐与百事可乐的液滴指纹图

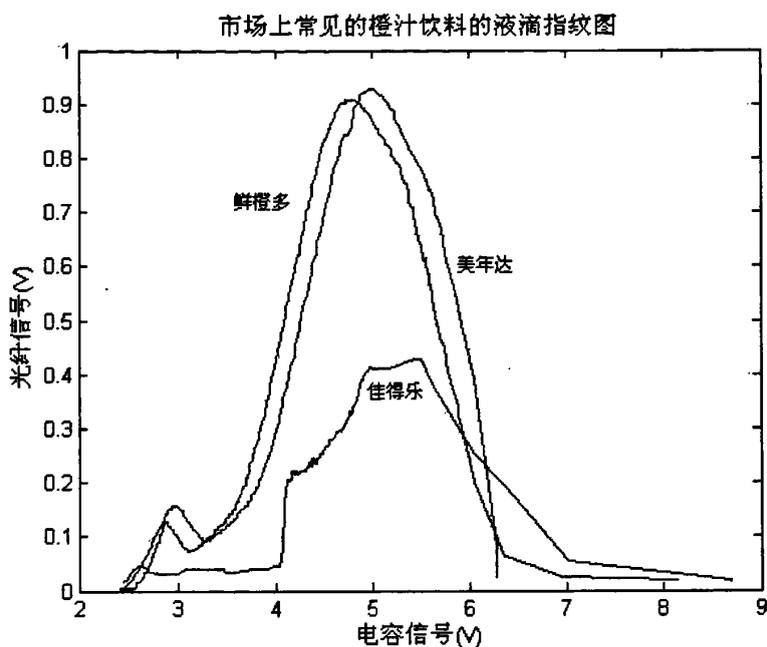


图 3-12 各种橙汁饮料的液滴指纹图

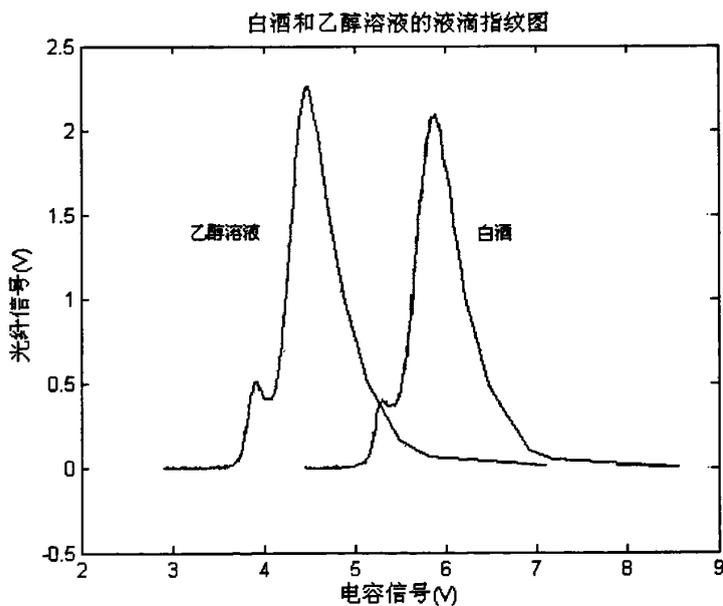


图 3-13 酒精和白酒的液滴指纹图

综合以上四幅图片可以得知，在液体属性相同时——比如可口可乐与百事可乐——反应在液滴指纹图上就是图像几乎完全相同，只是在液体滴落时由于过程

过于迅速，导致这个阶段的指纹图有些差距；在液体属性相近时——比如酒精与白酒，水和纯净水等——其液滴指纹图趋势走向相同，但位置不同。而在橙汁饮料的检测中，佳得乐显得比较特殊，而事实上品尝起来的口味也是佳得乐与另两种饮料相差甚远。这些都在实验中验证了液滴分析仪器的可靠性。

3.3.2 不同浓度液体的液滴指纹图

在进行不同浓度液体测量时，对测量目标液体考虑的因素与以上相同。最终，在现有的条件下，我们确定了以下的实验：

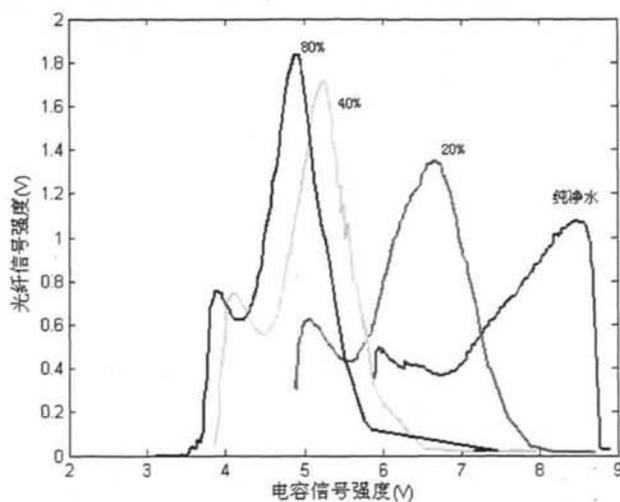


图 3-14 不同浓度乙醇溶液的液滴指纹图比较

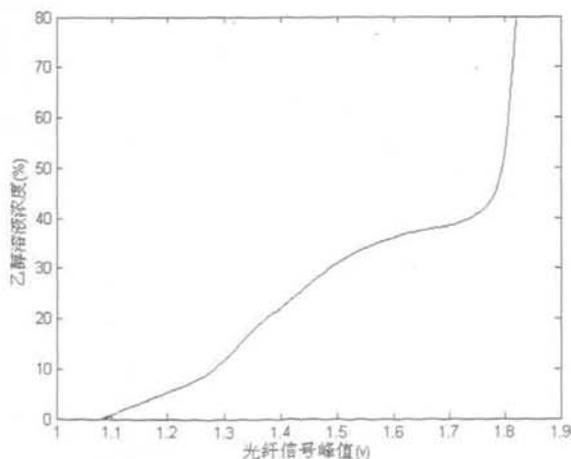


图 3-15 乙醇溶液浓度与其光纤信号峰值的关系

可以把纯净水看作是 0%浓度的乙醇溶液，从图中可以看出，乙醇溶液的液滴指纹图其光纤信号最大值随浓度增高而增大。由此，在这种情况下，可以以光纤信号强度为横坐标，对乙醇溶液浓度作一次标定，如图 3-15 所示。

3.4 小结

本章在对目标液体进行了大量的实验与数据分析工作。确定了两大类实验：不同性质的液体与相同性质不同浓度的两类。

在实验中，我们发现液滴指纹图会随着环境等测量条件的变化发生很大的变化，比如光纤位置改变对液滴指纹图的影响。同时，即便是相同浓度相同性质的液体在不同的温度下，结果也是不一样的。同时，这些都说明了液滴分析仪器具有很高的区分精度。

两类实验结果都达到了预期的目标，这进一步证实了液滴分析仪器在原理上与实际应用中的正确性和高精度。并且为第五章鉴别软件的编写奠定了实验基础。

第四章 嵌入式控制系统的设计

嵌入式系统 (Embedded System) 是当今最热门的领域之一, 它的定义为: 以应用为中心, 以计算机技术为基础, 并且软硬件可裁剪, 适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序 4 个部分组成, 用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能^[15]。

嵌入式 Linux (Embedded Linux) 是指对 linux 经过裁剪小型化之后, 将其固化在存储器或嵌入式系统中, 应用于特定嵌入式场合的专用 linux 操作系统。在本课题中, 由于 Linux 系统在实时性和文件系统管理等方面的优秀性能, 以及与硬件平台的良好平衡, 使得 Linux 成为本课题操作系统平台上的最终选择。

4.1 嵌入式系统的硬件架构

4.1.1 核心板结构

在本课题中, 在选择硬件平台时, 首先需要考虑的是对液滴分析这个课题的支持程度。此外, 硬件开发成本常常是在选择硬件开发平台的制约因素。当考虑硬件成本时, 须考虑嵌入式系统的整个成本而不仅仅是 CPU 或某一部件的成本。在这样的考虑之下, 最终采用了以下核心设备:

- 1) 主芯片 S3C2410。为整个系统的运算处理中心, 这里采用的是三星公司生产的 S3C2410, 速度高达 200MIPS, 完全可以满足识别程序对运算速度的要求。S3C2410 具有的丰富外设, 并且支持 Linux 操作系统, 这样的特性恰恰是我们所需要的。
- 2) 存储器。用来存储液滴分析程序和操作系统。包括三部分: 64M 字节的 SDRAM; 64M 字节的 NAND Flash 和 2M 字节的 Nor Flash

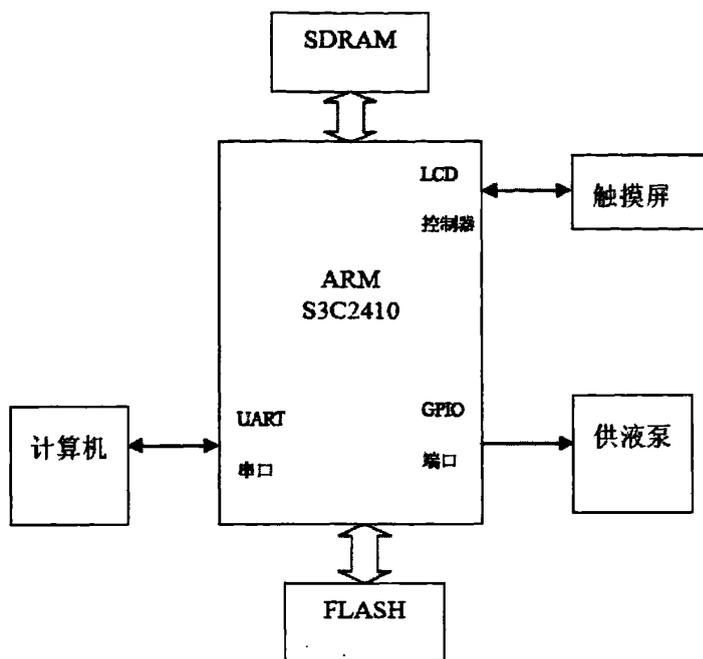


图 4-1 便携式液滴分析仪的硬件结构

串口可以通过串口线连接计算机。在开发调试阶段，嵌入式系统可以通过串口向计算机输出调试信息，还可以通过串口接受计算机指令。在移植成功之后，可以将该串口从系统中去掉。

嵌入式信号处理系统的主芯片选用了 Samsung 公司推出的 32 位 RISC 处理器 S3C2410。其 CPU 核心是由 Advanced RISC Machines (ARM) 公司设计的 ARM920T 处理器，工作频率高达 200MHz。ARM920T 实现了 MMU 虚拟存储器管理。这一结构具有独立的 16KB 指令 Cache 和 16KB 数据 Cache，每个都是由 8 字节长的行构成。此外，S3C2410 提供了一系列完整的系统外围设备。本系统中要用到的设备或特性主要有：

1) 系统管理器

支持大/小端方式，寻址空间为每 bank 128M 字节（总共 1G 字节）。支持可编程的每 bank 8/16/32 位数据总线带宽。带有 8 个存储器 bank：从 bank0 到 bank6 都采用固定的 bank 起始寻址，bank7 具有可编程的起始地址和大小。

2) NAND FLASH 启动引导

采用 4KB 内部缓冲器进行启动引导，可以从 NAND flash 存储器直接

启动，启动之后 NAND 存储器仍然可以作为外部存储器使用。

S3C2410 支持两种启动模式：一种从 NAND Flash 启动；一种从外部 nGCS0 片选的 Nor Flash 启动。

在这两种启动模式下，各片选的存储空间分配是不同的，这两种启动模式的存储分配图如下^[16]：

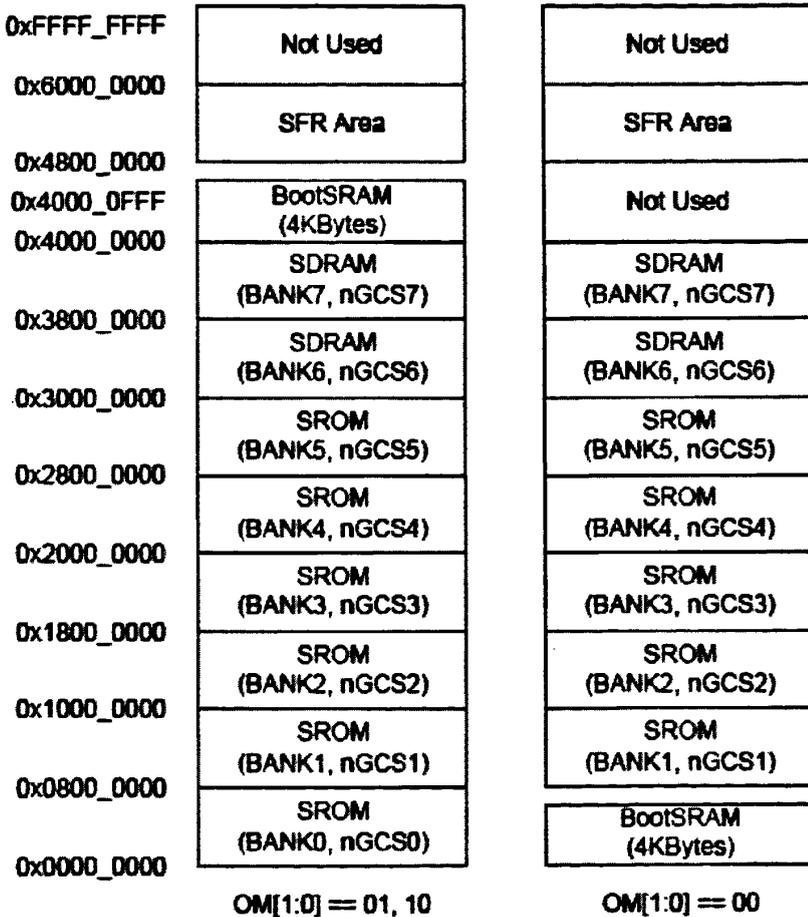


图 4-2 (a)

图 4-2(b)

a 图是 nGCS0 片选的 Nor Flash 启动模式下的存储分配图

b 图是 NAND Flash 启动模式下的存储分配图

4.1.2 LCD 和触摸屏接口

触摸屏是为了显示图形用户界面。选用触摸屏可以省去鼠标和键盘等输入设

备。用户可以直接在屏幕上点击操作，十分快捷方便。

将 S3C2410 自带的 A/D 转换器中的 AIN[7]和 AIN[5]用于连接触摸屏的模拟信号输入。触摸屏接口电路由触摸屏，4 个外部晶体管和一个外部电压源组成。

触摸屏接口的控制和选择信号(NYPON,YMON,NXPON,XMON)连接切换 X 坐标和 Y 坐标转换的外部晶体管。模拟输入引脚 (AIN[7],AIN[5]) 则连接到触摸屏引脚。触摸屏控制接口包括一个外部晶体管控制逻辑和具有中断产生逻辑的 ADC 接口逻辑^[17]。如图 4-3 所示。

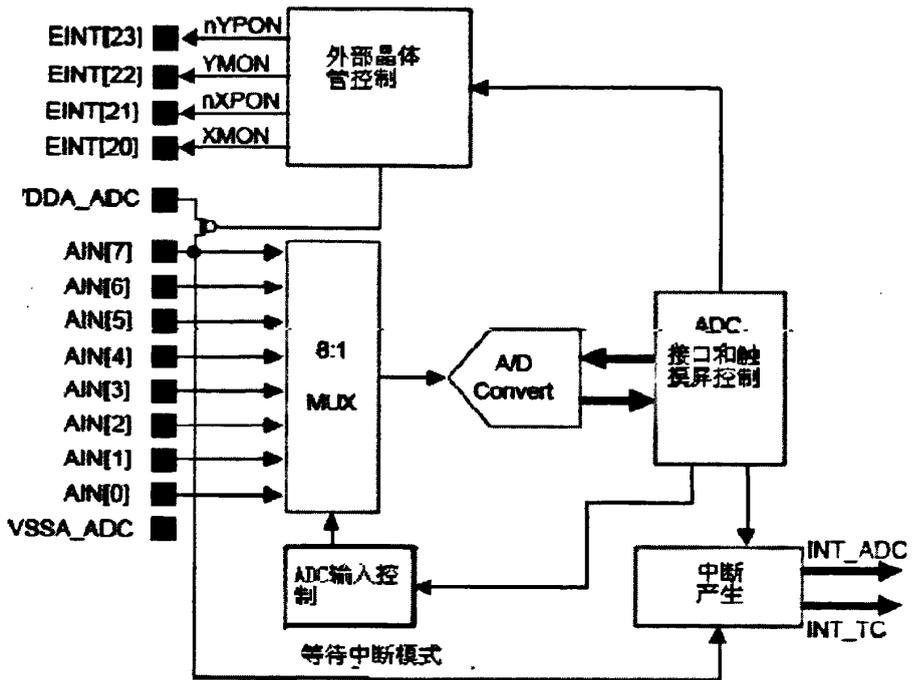


图 4-3 触摸屏接口结构图

图 4-3 所示是 S3C2410 上的触摸屏接口的功能框图。其中，A/D 转换器是一个循环类型的。上拉电阻接在 VDDA-ADC 和 AIN[7]之间。因此，触摸屏的 X+脚接到了 AIN[7]，Y+脚接在了 AIN[5]。

触摸屏的接口工作模式有以下五种：

1) 普通转换模式

普通转换模式是用作一般目的下的 ADC 转换。这个模式可以通过设置 ADCCON 和 ADCTSC 来进行对 AD 转换的初始化；而后读取 ADCDAT0 (ADC 数据寄存器 0) XPDATA 域 (普通 ADC 转换) 的值来完成转换。

2) 分离的 X/Y 轴坐标转换模式

分离的 X/Y 轴转换模式可以分为两个转换步骤：X 轴坐标转换和 Y 轴坐标转换。

X 轴坐标转换是将 X 轴坐标转换数值写入到 ADCDAT0 寄存器的 XPDATA 域。转换后，触摸屏接口将产生中断源(INT_ADC)到中断控制器。

Y 轴坐标转换是将 Y 轴坐标转换数值写入到 ADCDAT1 寄存器的 YPDATA 域。转换后，触摸屏的接口将产生中断源(INT_ADC)到中断控制器。

表 4-1 分离 X/Y 轴坐标转换模式下的触摸屏引脚状况表

	XP	XM	YP	YM
X 轴坐标转换	连到外部电压	GND	连到 AIN[5]	高阻
Y 轴坐标转换	连到 AIN[7]	高阻	连到外部电压	GND

3) 自动（连续）X/Y 轴坐标转换模式

自动（连续）X/Y 轴坐标转换模式以下面的步骤工作：触摸屏控制器将自动的切换 X 轴坐标和 Y 轴坐标并且读取两个坐标轴方向上的坐标。触摸屏控制器自动将测量得到的 X 轴数据写入到 ADCDAT0 寄存器的 XPDATA 域，然后将测量到的 Y 轴数据写入到 ADCDAT1 的 YPDATA 域。自动（连续）转换之后，触摸屏控制器产生中断源（INT_ADC）到中断控制器。

表 4-2 自动（连续）X/Y 轴坐标转换模式

	XP	XM	YP	YM
X 轴坐标转换	外部电压	GND	AIN[5]	高阻
Y 轴坐标转换	AIN[7]	高阻	外部电压	GND

4) 等待中断模式

在触摸屏控制器处于等待中端模式下的时候，它实际上是在等待触摸笔的点击。在触摸笔点击到触摸屏上的时候，控制器产生中断信号（INT_TC）。中断产生后，就可以通过适当的转换模式（分离的 X/Y 轴坐标转换模式或者自动 X/Y 轴坐标转换模式）来读取 X 和 Y 的位置。

表 4-3 等待中断模式下的触摸屏引脚状况

	XP	XM	YP	YM
等待中断模式	上拉	高阻	AIN[5]	GND

5) 静态 (Standby) 模式

当 ADCCON 寄存器的 STDBM 位被设置为 1 的时候, Standby 模式被激活。在该模式下, A/D 转换操作停止, ADCDAT0 寄存器的 XPDATA 和 ADCDAT1 寄存器的 YPDATA (正常 ADC) 域保持着先前转换所得的值。

4.2 嵌入式系统的软件架构

4.2.3 嵌入式操作系统

由于液滴分析程序要求对采集到的液滴原始数据进行读取、对比并且输出液滴属性。这样复杂的功能必须要求软件应用层之下具有操作系统的支持才能胜任。此外, 由于具备操作系统的支持, 操作系统负责诸如内存管理、进程管理、设备管理等底层管理功能, 有了操作系统的支持, 我们在开发应用程序时就无需过多考虑底层管理而只需专注于程序功能的实现, 可以在操作系统上开发运行复杂的图形用户程序。这也是基于 ARM 的嵌入式系统的真正优势所在^[18]。

目前, 主流的嵌入式操作系统主要有 VxWorks、WinCE、uC/OS 以及 Linux 数种可供选择。在选用何种嵌入式操作系统上, 作者作了如下图所示的分析 (见下页表 4-4):

表 4-4 各种嵌入式操作系统的比较

	VxWorks	WinCE	uC/OS	嵌入式 Linux
是否免费	否, 商用软件, 价格昂贵	否, 需支付授权使用费	学习用免费, 商用收费	完全免费
是否源代码开放	购买后可获得源代码	否	开放	开放
是否可以定制开发	可定制, 但受开发公司限制	可定制, 但受 Microsoft 公司影响甚多	可定制, 但功能有限	完全可以, 可以根据实际需要加载或卸载功能模块
体积	最小, 内核仅 8KB, 加上其他必要模块体积也很小	较大, 内核占用 500KB 的 ROM 和 250KB 的 RAM, 整个操作系统约 1.5MB	很小, 内核仅为 8.3KB	一般, 根据定制功能从几十 KB 到 500KB
功能以及适用领域	功能最强大, 应用于军事、航天等高精尖领域	功能完善, 应用于掌上电脑等手持设备中	一般, 多用于功能单一场合, 如超市收款机	功能强大, 应用十分广泛
开发难度	较容易	容易	一般	较难

根据表 4-4 进行综合的考虑, 最终选用了嵌入式 Linux 作为操作系统, 它的优势体现在:

1) Linux 系统遵循 GPL (General Public License) 协议, 本身是免费且源代码开放的, 因此可以进行方便的定制。若采用其它收费的嵌入式操作系统, 必然会增加液滴分析仪的总体成本; 而采用源代码不开放的操作系统, 将会给定制用户需要的功能带来麻烦。对于便携式液滴分析仪来说, 只需要完成特定、有限的功能, 因此源代码开放且可以方便定制功能的嵌入式 Linux 系统是最好的选择。

2) 同其它操作系统相比, 嵌入式 Linux 体积适中, 但功能强大, 对于便携式液滴分析仪来说, 诸如要求支持触摸屏等功能都可以实现。

3) 嵌入式 Linux 由传统的基于计算机的 Linux 系统经过裁减、改造而来, 同 Linux 保持很好的兼容性。因此在计算机的 Linux 操作系统中开发的软件可以经过少量修改甚至不经过修改就可以直接移植到嵌入式系统中去。经过开源组

织及一些商用软件公司的共同努力，目前 Linux 系统的开发环境已经有了很大的改进，不但保留了 Linux 系统开发的强大功能，而且开发过程更加简单、方便。液滴分析程序就是在计算机上的 Linux 系统上开发，然后移植到嵌入式 Linux 系统中去的。

4.2.4 Arm-Linux 的裁剪

我们选用的 ARM-Linux 操作系统支持 S3C2410 芯片，因此不需要作底层的移植。由于系统配置的 Flash 内存容量有限，仅为 64M，而普通 Linux 容量达数百兆。因此，在作液滴分析软件移植之前，需要对操作系统进行剪裁。仅留下对于液滴分析软件有用的部分，达到量身剪裁的目的^[19]。

1) 精简内核

按照 Linux 的内核特性，内核可以分为如下几类：对具体设备的支持（比如是否支持 ACI 设备，硬盘，光驱等等）、对网络的支持（包括对具体网络设备的支持，各种通讯协议的支持等等）、对各种文件系统的支持（比如 ext2 文件系统、minix 文件系统和 dos 文件系统等等）和软件特性的支持（比如进程间的通讯，支持的可执行文件的格式等等）。由于 S3C2410 没有硬盘、光驱等设备，而且液滴分析软件不需要网络支持，因此在配制内核时，可以把这些相关的部分都裁剪掉。

2) 启动脚本的精简

Linux 系统在启动和退出时使用了大量的脚本，这些脚本用来启用或者停止系统的服务进程。由于液滴分析软件的应用对象明确，因此不需要像普通 Linux 那样为了保证适用性保留这些大而全的脚本。

3) 文件系统的精简

此处所指的文件系统是包含了 Linux 运行时所必须的目录、设备文件以及应用软件的合集。普通的 Linux 文件系统十分庞大，达到数百兆，主要原因就是包含了丰富的应用软件、说明文档和帮助程序等等。说明文档和帮助程序对于液滴分析程序来说没有必要存在，因此将他们都删除掉。而对于根文件系统，则做到尽可能的精简。仅保留必须保留的六个目录。分别是：

/bin 目录下放置系统最基本的应用程序

/sbin 目录下放置系统命令

/etc 目录下放置系统脚本和配制文件

/dev 目录下放置设备文件

/lib 目录下放置系统必须的库文件

4) 应用程序小型化

对于必不可少的应用程序，比如 shell^[20]。可以用小型的版本代替。比如普通 Linux 下的 shell 有 317KB,而这里选择的 shell 只有 95KB。

5) 内核的编译

在对内核进行精简得到所需文件之后，需要建立一个交叉编译的环境来完成内核与应用程序的编译。生成 ROMFS 文件系统，使用“make”命令将其固化形成一个二进制的内核映像 image.bin，并且通过串口下载至硬件平台运行。至此，关于内核部分的工作已经完成。

4.3 小结

本章工作完成了嵌入式系统的设计，对于嵌入式系统的核心板硬件架构、LCD 触摸屏接口等硬件结构以及选用何种操作系统做了详细阐述分析。并对 Linux 系统进行了剪裁与内核编译。本章工作为第五章的嵌入式系统软件设计搭建了硬件和软件的平台。

第五章 液体鉴别软件的设计

在以往的液滴分析处理软件中。大多是采用建立数据库，提取待测液滴特征点，然后与数据库的相应参数相对比，最终得到待测液体性质的方法。整个软件系统运行流程即如图 5-1 所示：

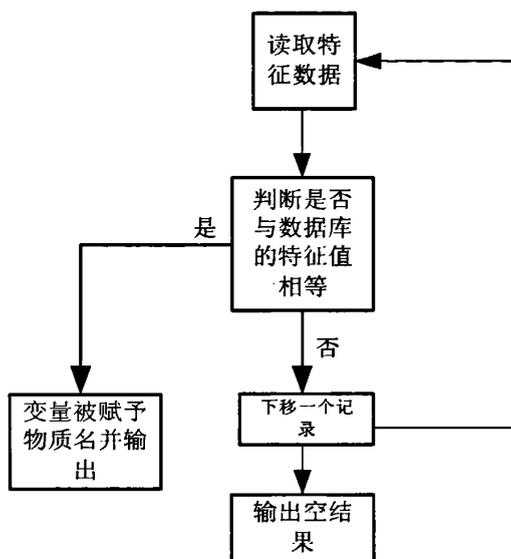


图 5-1 以往的液体特性查询流程图

这种做法在原理上是完全没有问题的。然而，由于液滴分析仪器自身的原因，比如：光纤的不同位置和电容的漂移会导致同一种液体的液滴指纹图输出有很大的变化。而且相同液体在不同的温度、不同的气压下的指纹图经常会有很大改变。如图 5-2 所示。因此，建立一个标准的液滴特征数据库进行特征比对在实际操作中困难重重。

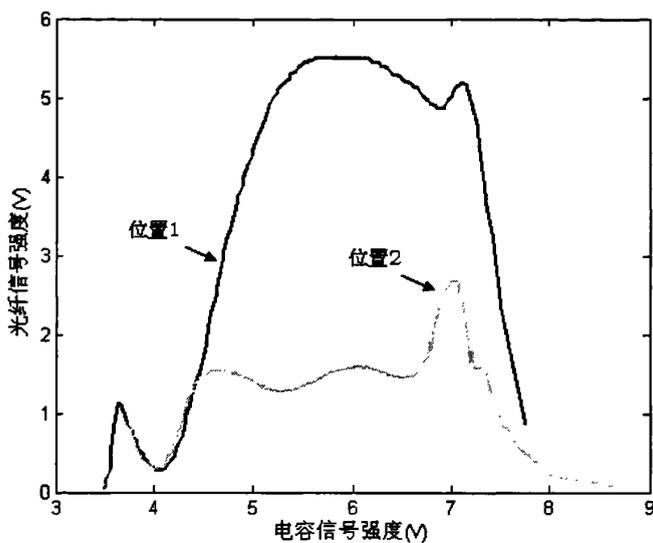


图 5-2(a) 光纤的不同位置导致液滴指纹图的变化

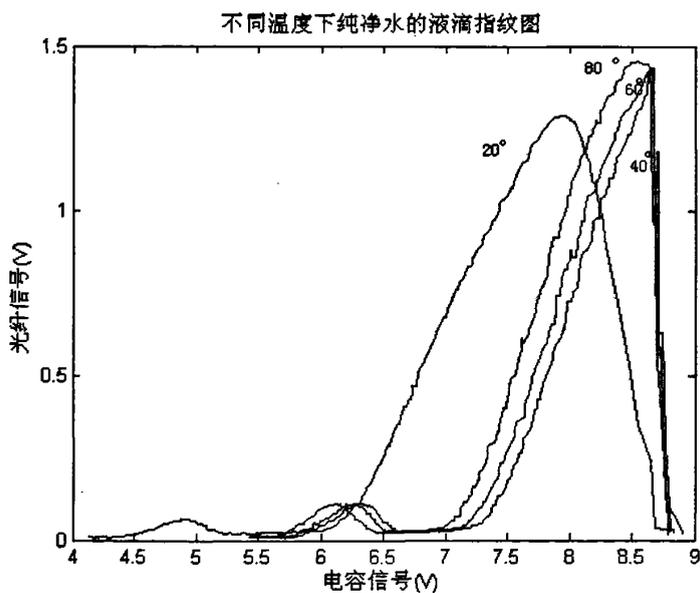


图 5-2(b) 纯净水在不同温度下的液滴指纹图

而液滴分析仪器在实际测量中鉴别细微液体差别的高精度优势（水在不同温度下的液滴指纹图的差别已经说明了这一点）和速度优势又使得液滴分析仪器在鉴别几种特定的液体上具有不可替代的优势。因为在鉴别几种特定液体时，我们可以很轻易的保持测量的环境恒定。此时就不需要去与标准数据库中的特征值对

比,而只需要在待测的一组液体之间相互对比即可。这样就省去了建立标准数据库的不便,而且很好的利用了液滴分析一起快速和高精度的特点。

因此,基于以上考虑,我们确定了鉴别几种具有代表性的液体的思路。这也为液滴分析仪器的产品化发展提供了新的思想和解决方案。

在选择目标液体上,我们遵循了以下原则:

- 1) 该目标液体必须是外观相同或相似,气味相同,无法利用视觉、嗅觉等感官鉴别出来的。
- 2) 该鉴别测量必须是有科研价值和市场价值的。
- 3) 该液体必须满足液滴分析仪器的测量条件。比如,对光纤电容传感器和滴头等部件无腐蚀性;该液体必须能形成液滴滴落;该液体必须是透光的等等。

综合以上因素考虑,我们最终选取了自来水和纯净水作为目标液体。它们两者在外观上都是无色无味,在进行鉴别时必须利用仪器测量的手段。而且,在假冒伪劣产品泛滥的今天,市场上的纯净水饮品良莠不齐,用自来水来充当纯净水的不法商贩大有人在。给消费者和纯净水生产厂家都带来健康和经济上的损失。毫无疑问,能够鉴别自来水和纯净水的液滴分析仪器具有广阔的市场发展空间。

本实验中的自来水取自天津大学第五教学楼。纯净水取自北洋纳滤水。

此外,两种液体反映到液滴指纹图上,也是十分相似,差别十分细微,如图 3-10 所示。具有一定鉴别难度和科研价值。

5.1 鉴别软件设计的原理与实验分析

在图 3-10 所示的水和纯净水的液滴指纹图中,我们可以清晰看到,水和纯净水两种液体指纹图的形状、走向是完全一致的。所不同的地方就在于虹峰(第一个峰)的高度和光纤信号最大值的高度,纯净水比自来水高一些。并且,纯净水的光纤信号最大值比自来水的的光纤信号最大值更加大一些。

这一特征反映在液滴分析仪器的原理上,可以做如下解释:在不同的液体上,入射光能够达到的最大透射值是不一样的。这也进一步说明了液滴分析仪器在原理上的正确性。

由于光纤的输出会随着光纤位置的改变而改变,因此,必须证明在光纤位置改变时,这种提取最大值的方法依然可靠。

为了使得这一特征更具有说服力,作者取水和自来水各做了三组 10 次实验。在每一组实验中,光纤位置是需要保持不变的。而在组跟组之间的实验,光纤位

置是有所变化的。数据如下表所示：

表 5-1 纯净水与自来水光纤信号最大值的比较（单位 V）

第一组实验	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	实验 5
纯净水	2.0166	2.0654	2.0361	2.0166	2.0166
自来水	1.8404	1.8359	1.8311	1.8364	1.8362
第一组实验	实验 6	实验 7	实验 8	实验 9	实验 10
纯净水	1.9971	2.0455	2.0836	2.0021	2.0551
自来水	1.8402	1.8358	1.8501	1.8494	1.8447
第二组实验	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	实验 5
纯净水	1.4965	1.4900	1.4895	1.4941	1.4893
自来水	1.2766	1.2912	1.2814	1.2570	1.2863
第二组实验	实验 6	实验 7	实验 8	实验 9	实验 10
纯净水	1.5008	1.4900	1.5039	1.4998	1.4917
自来水	1.2756	1.2719	1.2917	1.2717	1.2959
第三组实验	实验 1	实验 2	实验 3	实验 4	实验 5
纯净水	1.7699	1.7553	1.7139	1.7090	1.7748
自来水	1.5723	1.5527	1.5527	1.5820	1.5674
第三组实验	实验 6	实验 7	实验 8	实验 9	实验 10
纯净水	1.6943	1.7455	1.7748	1.6997	1.6846
自来水	1.5630	1.5723	1.5723	1.5771	1.5674

由表 5-1 可以看出，在每组试验中，纯净水和自来水的光纤信号差值都在 0.2V 左右，而纯净水与纯净水在每次测量之间的差值都在 0.05V 左右。因此，我们有理由相信，依照这种方法，在保证鉴别测量时光纤位置恒定的前提下，可以将水和纯净水鉴别出来。

5.2 液体鉴别软件的具体实现

由于 Linux 下的编程没有在 Windows 下方便，因此在进行液体鉴别软件设计时，我们采用了首先在 Win32 平台下进行设计，而后移植到嵌入式 Linux 平台下的方法，这样可以首先确保软件编写的准确性，其次可以保证软件移植的效率。

在 Windows 操作系统下的程序设计可以使用 Visual C++ 开发环境。界面的编程可以使用 MFC 类库。VC++ 的 MFC 类库实际上是 Windows 下 C++ 编程的一

套最为流行的类库^[21]。MFC 的框架结构大大方便了程序员的编程工作，它合理的封装了 WIN32 API 函数，并设计了一套方便的消息映射机制。MFC 是一个很大的、扩展了的 C++ 类层次结构，它能使开发 Windows 应用程序变得更加容易。MFC 是在整个 Windows 家族中都是兼容的，也就是说，无论是 Windows3.x、WindowsNT 还是 WindowsXP，所使用的 MFC 是兼容的。每当新的 Windows 版本出现时，MFC 也会得到修改以便使旧的编译器和代码能在新的系统中工作。MFC 也会得到扩展，添加新的特性、变得更加容易建立应用程序。

与传统上使用 C 语言直接访问 Windows API 相反，使用 MFC 和 C++ 的优点是 MFC 已经包含和压缩了所有标准的“样板文件”代码，这些代码是所有用 C 编写的 Windows 程序所必需的。因此用 MFC 编写的程序要比用 C 语言编写的程序小得多。另外，MFC 所编写的程序的性能也毫无损失。必要时，你也可以直接调用标准 C 函数，因为 MFC 不修改也不隐藏 Windows 程序的基本结构。

使用 MFC 的最大优点是 MFC 中包含了上成千上万行正确、优化和功能强大的 Windows 代码。从这点上将，MFC 极大地加快了你的程序开发速度。

基于以上理论与实验的支持，软件的流程图如下图所示。

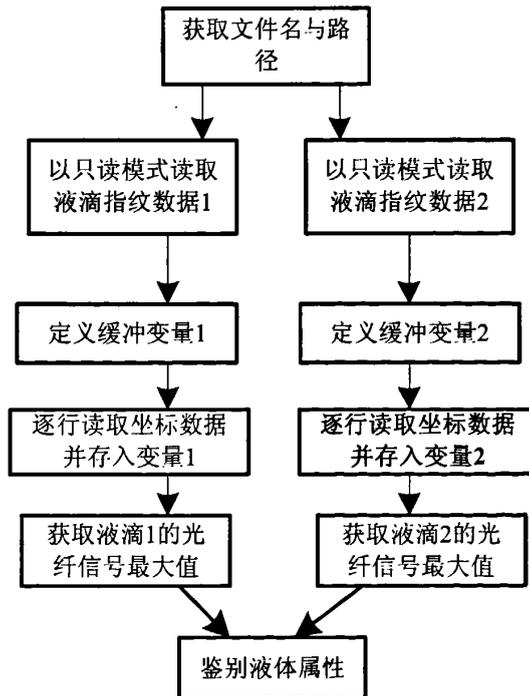


图 5-3 鉴别软件的原理框图

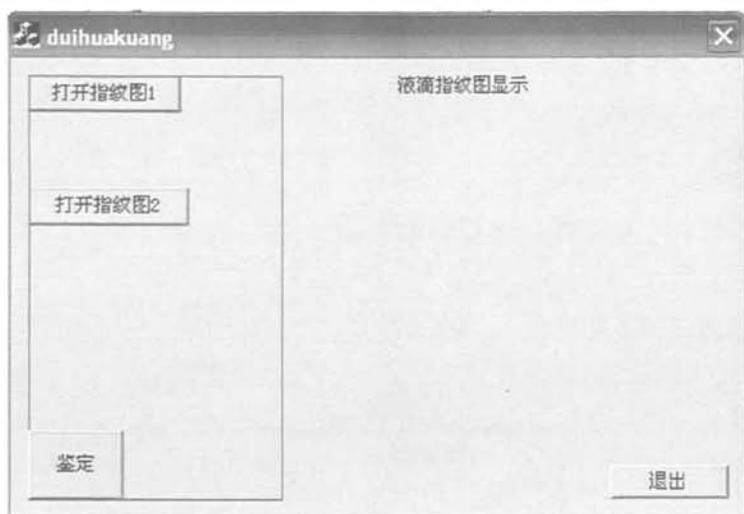


图 5-4 鉴别软件的界面

在设计程序时，主要分为三大框架：读入数据部分，比较数据部分和绘图并输出结果部分。下面就简要介绍各部分的具体实现。

1. 读入数据部分。这部分需要完成的功能是将已经由采集程序采集到的数据（.txt 格式）文件读入液滴分析程序。这里有两个问题：第一，如何获取目标文件的路径与文件名；第二，根据采集到的数据文件如何实现读入数据的操作。

对于第一个问题，我们可以采用 MFC 的文档/视图架构。所谓架构是一种基础性平台，是一个模型。通过这个平台、这个模型，我们在上面进一步修饰，可以得到无穷无尽的新事物。架构具有可学习、可再生、可实例化的特点，因此在这里的实例化实现代码如下：

```
CFileDialog dlg(TRUE); // 定义一个文件对话框变量
```

```
if(dlg.DoModal()=IDOK)
```

```
    CString m_FilePath=dlg.GetPathName(); //取得文件路径及文件名
```

```
    CStdioFile File;
```

```
    File.Open(m_FilePath,CFile::modeRead); //以读模式打开文本文件
```

对于第二个问题，针对液滴采集程序的结果作了如下考虑：

尽管数组结构比链表要迅速快捷的多，但以往的鉴别软件都是基于链表的结构，原因在于必须在程序运行之前确定数组的大小。数组定义大了，会导致程序

读取内存中的残留数，导致鉴别没有意义；而数组定义小了，会发生数据溢出导致程序崩溃。鉴于液滴采集数据的结构（见表 3-1），第一行的第一个数据表示总体采集点的多少。因此在这里可以将这个表示数据点的数据读入并且作为数组的大小完成数组初始化的功能，这样很好的利用了数组读取速度快的优势并且解决了确定数组大小困难的缺点。

在读入数组时，首先我们把文本文件的每行数据读到一个缓冲区，然后使用 `sscanf` 把它转化为字符格式。这部分的代码如下：

```
CString FileData;          //定义一个 CString 变量作为缓冲区

File.ReadString(FileData);//读取第一行数据，第一行数据为坐标点数据

/*定义两个临时字符串，并初始化为'\0'*/

float TempStr1[10];

float TempStr2[10];

memset(TempStr1,'\0',10);

memset(TempStr2,'\0',10);

sscanf(FileData,"%s",TempStr1);

m_PointNum = atoi(TempStr1); // 获取坐标点个数

/*逐行读取坐标数据*/

for (int i = 0;i<m_PointNum;i++)

{

File.ReadString(FileData);

sscanf(FileData,"%s %s",TempStr1,TempStr2);
```

```
m_PointArray.Add(CPoint(atoi(TempStr1),atoi(TempStr2)));// 将其存入坐标点数组
```

```
}
```

采用 `sscanf` 这种读法的一个好处是对文本格式要求不严，如下面的格式也可以（前面可有未知个空格） A1 A2 （两个数据之间也可有未知个空格） A3 A3An。这样对数据文件的要求又放宽了，在出现格式不齐的情况下也可以正常读取数据。

2. 比较数据部分。在读入数据之后，会产生 `m_PointArray[0]`，`m_PointArray[1]`，`m_PointArray[2]` ... `m_PointArray[m_PointNum]` 总共 `m_PointNum` 个二维数组。其中，第一列为电容信号数据，第二列为光纤信号数据。因此在本程序中，我们之需要提取光纤信号的最大值的情况下，只需要提取 `m_PointArray[0].y` 的最大值即可，它就代表了一个液滴样本光纤信号的最大值，也就是我们最终提取的特征数据。

在 C 语言中求取最大值有很多种算法。常用的有冒泡法和比较法等^[22]。在这里我们选取冒泡法来实现提取最大值的功能。冒泡法的基本思想是，通过相邻两个数之间的比较和交换，使排序码（数值）较小的数逐渐从底部移动至顶部，排序码较大的数逐渐从顶部移动至底部。就好像水底的气泡一样逐渐向上冒，故而得名。第 `i` 趟冒泡排序借助对无序序列（原始数据文件中的数据就是无序序列）中的记录进行“交换”的操作，将无序序列中关键字最大的记录“交换”到 `R[n-i+1]` 的位置上。

程序代码如下：

```
max1 = m_PointArray[0].y;
//如果 m_PointArray[k]大于 m_PointArray[k-1]，交换两者位置
for ( k=1; k<m_PointNum; k++)
{
    if (max1<=m_PointArray[k].y){ max1 = m_PointArray[k].y;}
}
```

3. 数据输出部分。在采集到两个待测液体的 `m_PointArray[k].y` 的最大值之后，就可以进行最终的液体属性究竟是自来水还是纯净水的鉴别。在此之前，还需要进行液滴指纹图的绘制工作。在这里，依然可以利用 MFC 的 CDC 类来完成从点到线的绘制工作。

程序代码如下：

```

CDC *pDC = GetDC(); //获取设备环境;

/*根据坐标点绘出直线*/

for (i = 0;i<m_PointNum-1;i++)

{

pDC->MoveTo(m_PointArray[i].x,m_PointArray[i].y);

pDC->LineTo(m_PointArray[i+1].x,m_PointArray[i+1].y);

}

ReleaseDC(pDC); //使用完后, 释放设备环境

```

在以上这段代码中, `LineTo()`和 `MoveTo()`函数就是实现画线功能的两个函数, 两个函数配合使用, 就能完成任何绘制直线和折线的操作。值得注意的是在画直线时, 总存在一个称作是当前位置的特殊位置。每次画直线都是以当前位置为起始点。画直线操作完成之后, 直线的结束点位置就又成了当前位置。设置当前位置的理由是为了提高画直线操作的效率^[23]。

`MoveTo` 函数是将起始点移至(`m_PointArray[i].x,m_PointArray[i].y`)处, `LineTo()` 函数是以当前位置所在点为直线起点, 绘制到终点 (`m_PointArray[i+1].x,m_PointArray[i+1].y`) 的直线^[24]。

之后就是输出待测液体的属性, 可以利用 MFC 的 `MessageBox` 函数完成。代码如下:

```

if ((max1 - max2 > 0.1) | (max1 - max2 < -0.1)) //max1 与 max2 的绝对值相差 0.1 以上时
{
    if (max1 > max2)
        MessageBox("1 是纯净水")
    else
        MessageBox("2 是纯净水")
}

```

```

else
    {   MessageBox("两者属性相同");
    } }

```

5.3 Arm-Linux 平台下液滴分析软件的移植

5.3.1 开发环境的介绍

在 Win32 平台下的界面编程使用的是 MFC 类库，在 Linux 下的界面编程就需要用到 QT/Embedded，它是由 Trolltech 公司开发的图形界面类库。QT/E 可以通过网络免费下载，相比较 MFC 来说，QT 具有的最重要特征就是优秀的跨平台特性。QT 不仅仅支持 Unix, Linux 操作系统，同时对于更加主流的 Windows 操作系统也是支持的。这就给我们的液滴分析程序移植工作带来了极大的便利。我们只需要将 Windows 系统上已经编写完的液滴识别程序在 Arm-Linux 嵌入式系统的编译器上重新编译一遍，即可生成可以在嵌入式平台运行的文件。所需修改的地方只是将原先 MFC 中包含的库文件替换为同样功能的 QT/E 库即可^[29]^[30]。

因此，在移植液滴识别软件的工作中，Arm-Linux 开发环境的建立就成为了十分关键的一环。在建立 Arm-Linux 开发环境的时候，主要分为以下步骤：

1) Frambuffer（帧缓冲）的配置

基于 QtE 开发的程序运行时需要 Framebuffer 的支持，Framebuffer 是一种独立于硬件之外的图形抽象设备，Linux 2.2.x 以上的版本都支持 Frambuffer，所需要做的就是选中特定的编译选项，对内核进行编译。Linux 中关于 Framebuffer 的选项有以下几种：

Code maturity level options 中的 [Prompt for development and/or incomplete codes/drivers]

Console drivers 中的 [Video mode selection support]、[Support for frame buffer devices]、[VESA VGA graphics console]、[Advance low level driver options]

将这些选项全都选中，之后编译内核，新的内核就可以支持 Framebuffer。

之后改写/etc/lilo.conf 启动项，为新内核添加一个启动选项，在其中指定的显示模式（用来定义显示的像素，颜色的深度）并重新启动系统，至此，Framebuffer 的配置成功。

2) 工具包的安装和环境变量的设置

环境变量的设置需要指定一些编译和链接过程中需要用到的环境变量。

它包括以下项目的设置：

QTDIR	安装 QTE 的目录位置
PATH	放置 MOC 程序的位置
MANPATH	QTE 帮助文件的位置
LD_LIBRARY_PATH	共享 QTE 库的位置

除去 Qt/E 安装包和 Qt x11 软件以外, 由于编译器是根据 Makefile 文件内容来进行编译的, 所以需要生成 Makefile 文件。Qt 提供的 tmake 工具可以帮助我们从一个工程文件 (.pro) 中产生 Makefile 文件。所以还需要安装 Tmake。输入命令行: `echo $TMAKEPATH`, 返回结果末尾是 `/qws/linux-arm-g++`, 则表示 Tmake 安装完毕。

3) QTE 库的交叉编译

交叉编译的实际定义是在一个处理器平台上编译产生一个工程代码的另一个处理器的目标代码。在这里是指需要 arm9 的 linux 编译器去编译工程并产生 arm9 处理器支持的目标代码, 却是在一台 PC 机上使用这个编译器。

开发居于 Qt/E 的应用程序要使用到 Qt/E 的库, 编写的 Qt 嵌入式应用程序最终也是需要在 S3C2410 上运行的, 因此在把 Qt 嵌入式应用程序编译成支持 S3C2410 的目标代码, 除了需要 Arm9 的 linux 编译工具之外, 还需要经过该编译器编译过的 Qt/E 的库。

5.3.2 液滴识别软件的移植

在编写完源程序的代码并且在开发环境建立、设置完毕之后, 可以将源代码经过 Arm-linux 编译工具链重新编译生成 Arm9 支持的目标代码之后移植入 S3C2410。在进行软件移植之前, 一般首先要分析以下内容是否已经完善:

- (1) 硬件是否完全支持。
- (2) 它依赖什么特定的函数库。
- (3) 是否依赖特定的高层图形类库。
- (4) 是否依赖特定的软件。

由于在嵌入式系统建立自始至终, 我们都在考虑硬件支持的问题, 因此在硬件支持上没有问题。而由于液滴分析软件是在 Win32 平台下使用 MFC 编写的, 所以在函数库以及图形类库上面, 需要做一些改动。而核心代码和读入数据、比较数据、输出属性三部分的框架结构也不需要做改动。此外, 液滴分析软件没有依赖的特定软件。

由于在 GUI (界面编程) 上使用的 MFC 的类库与函数库十分庞大, 在头文件和源程序文件上做一一修改工作量太大, 而且难以确保准确。因此, 可以使用先利用 Qt 生成 GUI 界面之后, 再利用 Linux 下的 `uic` 命令生成 GUI 的 .h 文件与 .cpp

文件的方法。这样工作量大大减少，并且可以确保准确。

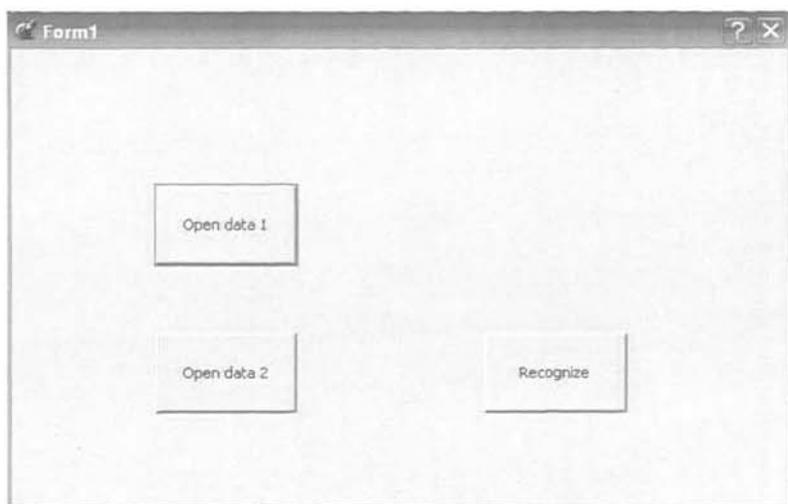


图 5-5 Linux 下的液滴识别软件界面

之后，在命令行下输入：

```
uic -o liquid.h liquid.ui
```

```
uic -o liquid.cpp -impl liquid.h liquid.ui
```

这样，就得到了液滴识别软件窗体类的头文件 `liquid.h` 和实现文件 `liquid.cpp`，之后我们就可以将液滴识别软件的读入数据、比较数据、输出属性三部分的代码添加到 `liquid.cpp` 文件中。

每一个 Qt/E 的应用程序都应该包含一个主函数 `main.cpp`。主函数是应用程序执行的入口点。因此，还需要再为液滴识别软件编写一个主函数文件的实现代码如下：

```
#include <qapplication.h>
#include <qpushbutton.h>
#include <qlabel.h>
#include <qframe.h>
#include <qmessagebox.h>
#include "liquid.h"
int main( int argc, char **argv )
{
    QApplication a( argc, argv );
```

```
MyWidget w;  
w.setGeometry(0,0, 640, 480);  
  
a.setMainWidget( &w );  
  
w.show();  
return a.exec();  
}
```

之后将 liquid.h、liquid.cpp、main.cpp 文件放在一个文件夹内，在命令行下输入：`tmake -o Makefile liquid.pro`，生成 Makefile 文件。之后就可以使用 `make` 命令生成可以在 S3C2410 上运行的，与 Win32 平台下的相同功能的液体鉴别软件的二进制可执行文件。

5.4 识别率的检验

在做检验识别率实验时，我们选取了自来水（取自天津大学第五教学楼）和纯净水（取自北洋纳滤水）各 20 个样本。在 20 次的试验中，纯净水和自来水全部被区分开，最终样本个体识别率达到 100%，据真率 0%，认假率 0%。这从实验中证明了该程序从原理到实际实现的正确性。

5.5 小结

本章主要工作是在已经搭建好的嵌入式平台上进行液滴鉴别软件的设计。采用了首先在 Win32 平台下开发后移植到嵌入式系统的方法。从硬件是否完全支持，依赖的特定函数库，依赖的高层图形类库以及依赖的特定软件四个方面进行综合考虑之后，作出了最终成果。

具体的来说，从 Win32 系统平台下移植到嵌入式 Linux 平台下时，在函数库与图形类库作相应改变的同时，保持核心代码不作改动。这也是做鉴别软件不同平台下移植时的指导思想所在。

本鉴别软件采用比对单次测量特征值的方法解决了以往液滴鉴别程序需要建立标准数据库的问题。完成了液滴鉴别软件的设计,并最终在实验中验证了它的识别率、据真率和认假率。达到了令人满意的效果。

然而,受液滴分析仪器的原理和鉴别软件设计时原理的限制,这种方法也有它的不足,比如:

- 1) 只能鉴别水和纯净水或者光纤信号最大值有差异的液体。对于鉴别光纤信号最大值没有差异的液体,这种方法无能为力。
- 2) 在测量时必须保证样本点足够多,否则采集不到最大值,鉴别测量也是没有意义。

但与以往的鉴别方法相比,这种测量方法还是有优势的:

- 1) 舍弃了之前建立标准数据库“大而不精”的方法,采取了“小而专”的方法。
- 2) 只需要保证单次测量时光纤位置稳定,这显然比以往的每次测量都需保证光纤位置要方便许多。
- 3) 采取数组的存储方法,更加简洁快速并且解决了数组大小不易控制的问题。

第六章 全文总结与展望

本文在对目标液体进行液滴指纹图的定性分析之后,对液体样本进行了分类与归纳总结。对于特性相近的液体进行了鉴别软件的编写。并且进行了嵌入式系统的移植工作。最后用实验的方法验证了液体鉴别软件的实用性。得到了预期的效果。

与以往的液滴分析仪器相比,本液滴分析仪器具有如下改进:

- 1) 不需要计算机操作,实现了嵌入式系统的便携式设计。
- 2) 舍弃建立数据库对比的方法,着眼于一类具有代表性和研究价值的液体鉴别,在识别精度上有了很大提高。

在液滴分析仪器的未来发展上,今后的工作应该着重于以下几个方面:

- 1) 提高液滴分析仪器硬件部分的可靠性。包括滴头部分结构、电路漂移等影响采集数据精度的部分。
- 2) 如果要建立系统的液滴指纹数据库,那就需要考虑仪器的稳定性,尤其是光纤位置对液滴指纹图的影响,需要考虑补偿方法。
- 3) 对于“基于体积的液滴指纹图”进行更进一步的量化分析。对不同浓度的溶液进行比第三章中介绍的内容更加精确的标定。
- 4) 将 S3C2410 硬件核心板部分进行进一步的精简。比如网络通信部分和蜂鸣器等部分可以剪裁掉。达到软硬件都为液滴分析仪器“量身定做”的效果。

参考文献

- [1]裘祖荣, 液滴分析技术的研究: [博士论文], 天津:天津大学, 2000
- [2]McMillan N D, Feeney F E, Power M J P, et al, A qualitative study of fiber drop traces on mechanically excited damped vibrations of drops of pure liquids using FFT analysis, Instrumentation Science and Technology, 1994, 22(4):375-395
- [3]McMillan N D, Davern P, Lawlor V N, et al, The capacitive drop tensionmeter—a novel multianalysing technique for measuring the properties of liquids, Measurement Science and Technology, 1999, 10:19-24
- [4]宋晴, 光纤、电容液滴分析仪的设计研究[博士学位论文], 天津:天津大学, 2002
- [5]廖延彪, 光纤光学, 北京: 清华大学出版社, 2000
- [6]尹泽明, 丁春利, 精通 MATLAB 6, 北京: 清华大学出版社, 2002
- [7]中华人民共和国国家专利总局, GB3100-3102, 中华人民共和国国家标准, 北京: 中国标准出版社, 2007-06-01
- [8]陈海秀, 光谱液滴分析系统的设计构成: [博士学位论文], 天津: 天津大学, 2005
- [9]夏良正, 数字图像处理, 南京: 东南大学出版社, 2001
- [10]MAXIM Corporation, MAX038 high-frequency waveform generator Users Manual
- [11]齐舒创作室, Visual C++用户界面制作技术与应用, 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [12]谭浩强, 张基温, C++程序设计教程, 北京: 清华大学出版社, 2001
- [13]Stephen Prata, C++ Primer Plus 中文版, 北京: 人民邮电出版社, 2006
- [14]候俊杰, 深入浅出 MFC 程序设计, 武汉: 武汉理工大学出版社, 1998
- [15]费鸣杰, 便携液滴分析仪的设计研究[硕士学位论文], 天津:天津大学
- [16]冯国红, 光纤电容液滴分析仪的改进设计以及光谱液滴分析仪的研究: [硕士学位论文], 天津: 天津大学, 2005
- [17]金篆芷, 王明时, 现代传感技术, 北京: 电子工业出版社, 1995
- [18]National Semiconductor Corporation, LM131 Precision Voltage-to-Frequency Converter Users Manual
- [19]David E.Simon, 嵌入式系统软件教程, 北京: 机械工业出版社, 2003
- [20]陈曾平, 刘平, 精通 Matlab 6, 北京: 科学出版社, 2006

- [21]钱能, C++程序设计教程, 北京: 清华大学出版社, 2001
- [22]苏金明, 王永利, Matlab7.0 实用指南, 北京: 电子工业出版社, 2004
- [23]强锡富, 传感器, 北京: 机械工业出版社, 1993
- [24]ADLINK Technology, NUDAQ PCI-9113A
- [25]张国雄, 金篆芷, 测控电路, 北京: 机械工业出版社, 2000
- [26]吴正毅, 测试技术与测试信号处理, 北京: 清华大学出版社, 1991
- [27]赵星寒, 刘涛, 单片机以及嵌入式系统, 北京: 清华大学出版社, 2005
- [28]李秀敏, 凌宇新, Visual C++ 6.0 入门与提高, 北京: 清华大学出版社, 2005
- [29]雷思孝, 李伯成, 单片机原理与实用技术, 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002
- [30]吴明晖, 基于 ARM 的嵌入式系统开发与应用, 北京: 人民邮电出版社, 2002

发表论文和科研情况说明

发表的论文:

- [1] 马浩, 裘祖荣, 费鸣杰, “液滴分析仪器的小型化研究”, 《科学技术与工程》2007年9月

参与的科研项目:

本人参与了与新加坡的合作项目: 液滴分析仪器的设计研究

致 谢

本论文的工作是在我的导师裘祖荣教授的悉心指导下完成的,裘祖荣教授严谨的治学态度、丰富的科研经验和科学的工作方法给了我极大的帮助和影响。在此衷心感谢两年来裘老师对我的关心和指导。

李杏华副教授悉心指导我们完成了实验室的科研工作,在学习上和生活上都给予了我很大的关心和帮助,在此向李老师表示衷心的感谢。

感谢费鸣杰师兄、张永杰硕士生、于海娣硕士生在此间的真诚合作和鼎力支持。感谢实验室内吕东伏、周春艳、马丽芳、齐永利、赵健、张超以及自动化学院张煜言硕士生、精仪学院刘江一硕士生的帮助和建议。

感谢相伴六年的同窗好友。使我在天大的6年充满希望和温暖。

感谢千里以外的家人和女友,他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

最后,衷心感谢在百忙之中抽出宝贵时间对论文进行评审的各位专家和学者!