

## 基于MEMS和数字信号处理器的露点传感器设计

Dew point sensor design based on MEMS and digital signal processor

谢 军, 刘清倦

XIE Jun, LIU Qing-quan

(南京信息工程大学 电子与信息工程学院 信号与信息处理系, 南京 210044)

**摘 要:** 提出一种基于MEMS传感器和数字信号处理技术的电容式露点传感器的设计, 实现对大气环境的露点温度检测。利用24位 - 模数转换器对温度进行测量, 并运用PID算法对多级半导体制冷器进行精确控制。经过光学冷镜式露点传感器的对比测试, 验证了其露点测量误差小于0.4。该传感器体积小、功耗低、响应快, 能够满足大气中水汽含量瞬态变化的测量要求, 有望在气象观测领域获得应用。

**关键词:** 露点; DSP; 电容传感器; 温度传感器; 半导体制冷; PID算法

中图分类号: TP212

文献标识码: B

文章编号: 1009-0134(2013)02(上)-0133-03

Doi:10.3969/j.issn.1009-0134.2013.02(上).35

### 0 引言

大气环境由多种因素组成, 例如, 风向、风速、湿度、温度等。在气象探测领域, 获取的湿度数据不但是了解和分析预报天气变化极其重要的依据, 也是气候变化预估等科学研究必不可少的资料。其准确性和实时性直接影响到气候系统的分析和预报。而大气露点温度是大气湿度的一个重要参数, 在一定程度上, 大气露点温度可以反应大气的湿度情况。精确测量露点不但可用于提高天气预报精度, 在气候变化研究领域也尤为重要。使一个镜面处在样品空气中降温, 直到镜面上隐现露滴时, 此时镜面温度即为露点温度<sup>[1,2]</sup>。传统的光学露点传感器虽然有精度高的优点, 但价格昂贵, 光电器件受温漂影响大, 应用于高空气象探测有较大难度<sup>[3]</sup>。微机电系统(MEMS)是利用集成电路工艺和微机械加工技术, 将微传感器、执行器、电路等组件集成在一块芯片或模组上的技术。近年来MEMS技术的发展使传感器实现了微型化、智能化、低功耗化和大规模生产。针对传统技术存在的局限性, 本文提出了一种基于电容式MEMS传感器, 以TMS320F2812数字信号处理器(DSP)为核心的露点传感器, 采用多级半导体制冷器, 通过比例、微分、积分(PID)算法控制温

度变化, 实现露点的精确控制。

### 1 露点传感器的工作原理

露点传感器硬件设计框图如图1所示。

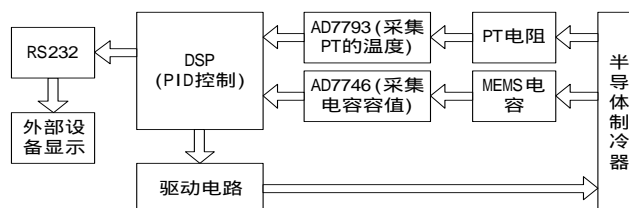


图1 硬件设计框图

本文中提出的露点传感器主要由DSP、模数转换器(ADC)、多级半导体制冷器、MEMS电容传感器和铂(Pt)电阻温度传感器等部分组成。露点传感器实物图如图2所示。



图2 露点传感器电路实物图

露点传感器的基本工作原理是, 在电容正对面积和电容板间距不变的前提下, 电容值只与当前环境下的介电常数有关。当露点传感器工作时, 在一个MEMS传感器上降温, 当环境温度降

收稿日期: 2012-09-17

项目基金: 国家公益性行业(气象)科研专项重点项目(GYHY200906037, GYHY201106048); 国家自然科学基金项目(41075026, 412475042); 江苏高校优势学科建设工程: “传感网与现代气象装备”项目; 江苏省科技支撑计划重点项目(BE2011006)

作者简介: 谢军(1988-), 男, 江苏溧水人, 硕士, 研究方向为传感器设计。

低至空气的露点温度时，待测环境下的样本空气达到饱和状态，传感器表面开始有微小的露珠凝结，引起 改变。使用电容检测电路采集MEMS电容传感器的电容时，如果在采集过程中，电容某一时刻达到设定的平衡条件，此时电阻检测电路采集到的Pt电阻值所对应的温度值即为当前大气环境的露点温度，即当前露点传感器测得的温度就是露点温度<sup>[4]</sup>。由于露点传感器系统主要用于气象探测，露点温度测量范围为-50 到+50 ，这就要求温度传感器具有良好的线性和长期稳定性。由于热敏电阻、热电偶和集成温度传感器难以达到要求，因此选用稳定性较高的Pt电阻温度传感器作为感温元件。

## 1.1 1DSP模块设计

露点传感器需要迅速实现露点温度的测量，这就要求处理器的响应速率应较快。在实现露点测量时，还需要实现PID控制，使用脉冲宽度调制（PWM）来控制半导体制冷器的通断，同时，要实现露点传感器。

各个模块之间的通信，以上原因都要求处理器具有很高的处理效率和优良的处理能力。

TMS320F2812处理速度快，主频最大可以达到150MHz；采用低电压供电，功耗较低；支持JTAG在线仿真；片内自带SRAM、Flash，节省成本以及外部电路的复杂性；大量的可控制GPIO口，方便控制外部设备；包含众多的外部设备，比如事件管理器（EV）等。鉴于此本设计选用了TMS320F2812作为整个露点传感器的处理器，其能较好地完成露点测量的要求。

## 1.2 露点传感器温度测量模块设计

为得到精度高的测量数据，需要采用分辨率高、采样速度快、噪声低的ADC进行模数转换。该电路中选用的AD7793是一款适合高精度测量应用的低功耗ADC。AD7793内部包含 - 电路， - 调制器以极高的采样频率对输入模拟信号进行采样，并对两个采样值之间的差值进行低位量化。在10Hz的采样频率下，可实现最高为24位的采样精度，分辨率较高，对于检测微小变化有很大作用。

四线制连接是实现高精度的测温最优方式<sup>[5]</sup>，因此采用四线制方式将Pt电阻与AD7793连接。利用AD7793的高精度特性，检测出Pt电阻阻值，根

据Pt电阻分度表，将测量结果由串口发送到计算机，经对比测试，这种电路的温度测量精度优于 $\pm 0.1$  。

## 1.3 露点传感器电容测量模块设计

高精度电容测量的方法，先将电容转换为电压，再用ADC测量。AD7746是专业应用于采集高精度电容的ADC，其具有分辨率高，采样速度快，噪声低的特点，可实现对高精度电容采样的功能。与AD7793类似，其内部包含 - 电路，可以保证其采样精度。

将MEMS电容传感器与AD7746连接，直接测量出当前状态下的MEMS电容容值。采集到的数据同时传输给DSP的I/O口，利用AD7746检测到电容的微小变化，当露点传感器开始工作后，制冷器在短时间内就会进入工作状态，在此时ADC以一定速率处理此时采集到数据，并通过RS232接口发送到计算机，在计算上存储和显示测量结果。

## 1.4 半导体制冷器的控制与驱动

露点传感器的制冷装置采用的是多级半导体制冷器，最大降温可达约90 ，可满足在地面和高空大气环境下的露点温度测量要求。微处理器DSP使用EV产生PWM信号对半导体制冷器进行控制。PWM具有系统频带宽，动态响应好，抗干扰能力强，主电路简单，功耗小，效率高等特点，可以在控制半导体制冷器的同时，降低对数据采集模块的干扰，确保采集到的数据尽可能准确。通过改变通脉宽的宽度，调节PWM的占空比来控制作为制冷器开关的MOS管的通断，使得半导体制冷器在较高的效率下工作，并能够保证温度控制实现露点传感器的结露要求。

## 1.5 基于虚拟仪器的显示终端

为了便于露点传感器使用者调试和测试，采用虚拟仪器软件LabVIEW在计算机上设计了调试串口，本设计中采用的是串口RS232协议，实现露点传感器与计算机的通信连接。露点传感器通过RS232接口将采集到的各项数据传送到计算机进行处理，同时，在LabVIEW设计的可视化窗口中显示出来，便于使用者对测量到的露点温度进行定性的分析与判断。

## 2 传感器系统的软件与算法实现

露点传感器的软件设计包含系统控制算法和数据读取显示两个部分。

## 2.1 系统控制算法

为在DSP上实现系统算法，采用的软件是以C语言为基础的Code Composer Studio (CCS) 软件，CCS 包含一整套用于开发和调试嵌入式应用的工具。它包含适用于每个TI器件系列的编译器、源码编辑器、项目构建环境、调试器、描述器、仿真器以及多种其它功能。软件内容主要包含各个模数转换器的信号采集和对于多级半导体冷却器的精确控制。软件设计流程图如图3所示。

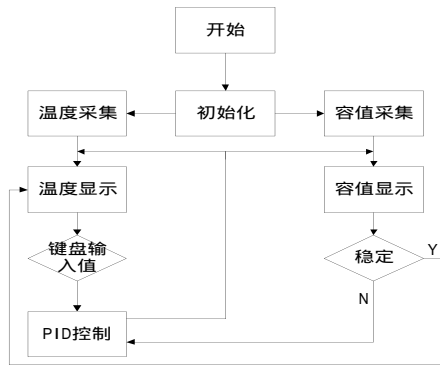


图3 软件设计流程图

初始化模块主要实现处理器DSP的时钟启动，DSP相关端口功能选择，实现ADC的初始化。数据采集及显示模块，将采集到的数据在LabVIEW设计的可视化窗口中显示出来。

本设计中采用PID控制原理进行温度控制，PID控制是控制系统中最成熟、应用最广泛的一种控制方式<sup>[6]</sup>。PID控制算法能够在控制过程中根据预设平衡条件不停的自动控制使温度值朝平衡条件过渡，最后能够达到预设平衡状态<sup>[7]</sup>。本设计中采用的是PID离散算法，因为系统控制时只能根据采样时刻的偏差值进行控制量计算，为了解决这种问题，采用离散处理的方法，形成的公式如公式(1)所示：

$$Q = Kp \times e(t) + Ki \times \sum e(t) + Kd(e(t) - e(t-1)) \quad (1)$$

在公式(1)中，Kp、Ki、Kd分别为调节器的比例、积分和微分系数；e(t)、e(t-1)分别为第t次和第t-1次时的期望偏差值；Q为第t次时调节器的输出。

在离散PID算法中，比例环节的作用是对信号等额偏差瞬间做出反应；积分环节可以消除静态误差；微分环节可以阻止偏差的变化，有助于减小超调量，克服振荡，使系统趋于稳定。依据以

上公式，可形成PID控制算法，实现对多级半导体制冷器的精确控制。

## 2.2 测量结果传输与显示

本设计中需要对采集到的电阻值和电容值进行分析，因此需要直观的观察采集的数据，在设计中选用由美国国家仪器(NI)公司研制开发的LabVIEW开发环境。借助LabVIEW设计一个可视化窗口，直观显示采集的露点温度数据，方便露点传感器使用者对数据进行分析与判断。图4是在实验过程中某一时刻测得的实时露点温度截图。

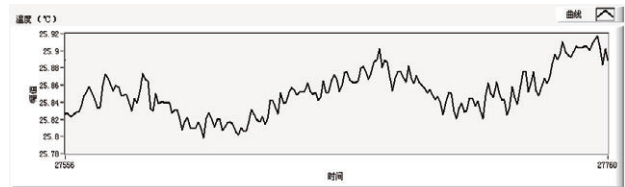


图4 某时刻露点温度各参考量截图

## 3 实验结果与分析

在常温环境下与计量级光电式露点传感器的测量数据作对比，选用了Michell公司的OPTIDEW VISION光电原理的冷镜式露点传感器。实施多次实验，将两种仪器的测量结果进行对比。将光电式露点传感器所测得的露点温度记为tdp1，将基于MEMS技术的露点传感器所测得的露点温度记为tdp2。tdp1与tdp2的对比曲线图如图5所示。

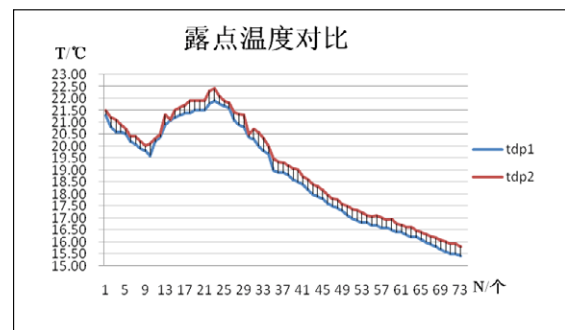


图5 露点温度对比曲线

根据图5中所示的数据，经过计算可得出露点温度实测平均误差为0.369。该露点传感器的设计达到了要求，有望应用于大气露点测量。

## 4 结束语

本文提出了一种基于电容式MEMS技术的露点传感器，由DSP、ADC、多级半导体制冷器、MEMS电容传感器和Pt电阻温度传感器等部分组成。

【下转第138页】

## 3 系统实现

课题研究以乡村生态旅游景区“山东肥城刘台桃花源”矢量地图数据为示例数据,以Windows Mobile 6.5操作系统、内置GPS模块的Dopod T8388为测试样机,以安装IIS信息服务组件的Windows 2003 Server为服务器测试环境,实现满足乡村生态旅游服务特殊需求的移动智能导引系统(简称“乡游通”)。

### 1) 游客位置定位

对游客位置的定位,通过调用手机内置GPS模块接口,获取经纬度坐标,并经过坐标轮换,实现对游客位置在景区地图上的准确定位。

### 2) 景点导航

提供两种导航方式,一种是与游客无关的导航,直接通过景点下拉菜单方式选择感兴趣的景点进行景点的位置定位和信息查阅;另一种是以游客所处位置为中心,以特定位移差为半径,有针对性地固定区域范围内的景点筛选出来。

### 3) 路线规划

提供两种路线规划方式:一种是以景点最多为原则,规划出从起点到终点经过景点最多的路

线;另一种是以路程最短为原则,规划出从起点到终点路程距离最短的路线。

## 4 结束语

本文以乡村生态旅游的地域特殊性和信息服务差异性为切入点,探索性地开展基于景区矢量地图的移动智能导引系统(即“乡游通”)研究,并通过在“山东肥城刘台桃花源”景区的实地功能测试,优化了用户的操作体验性和系统的功能实用性。目前本研究是以手机为信息服务载体,依靠用户的主动式请求获取服务需求,考虑到乡村生态旅游旅游者服务需求的多样性,下一步将在移动终端的服务自感知能力、服务的个性化定制等方面开展进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 程恺,李博,杜晓飞.基于J2ME手机矢量地图及定位技术的应用研究[J].计算机时代,2006(12):31-33.
- [2] 侯志强.区域移动导游服务平台的架构研究[J].中国科技信息,2009(23):47-50.
- [3] 沈文裕,方钰,蒋昌俊,等.跨平台嵌入式GIS数据模型的研究与应用[J].计算机应用,2007(27):2298-2301.

【上接第135页】

成,可实现快速测量大气露点的功能。而这种露点传感器还具有体积小、功耗低、响应快、成本低等特点,有望在气象观测领域获得应用。

### 参考文献:

- [1] Jerzy Weremczuk,Dew/Frost Point Recognition with Fingerprint Sensor,Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC 2007,Warsaw,Poland,May 1-3,2007.
- [2] Jerzy Weremczuk,Dew/Frost Point Recognition with Fingerprint Sensor,IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT,VOL.57,NO.8,AUGUST 2008.

- [3] Panagiotis A.Sara\_s,DEVELOPMENT OF A DEW POINT SENSOR BASED ON CHILLED MIRROR HYGROMETER TECHNOLOGY,2010.
- [4] M.Kunze,H.Glosch,B.Ehrbrecht,S.Billat,S.Messner,M.Ashauer and R.Zengerle,THERMAL DEWPOINT SENSING:A NEW APPROACH FOR DEWPOINT DETECTION AND HUMIDITY SENSING,IEEE MEMS 2007,Kobe,Japan,21-25 January 2007.
- [5] 石明江,张禾,何道清.基于LabVIEW的高精度铂电阻测温系统设计[J].计算机测量与控制,2011.
- [6] 李晓谿,吴志强.基于参数自适应模糊PID控制器的掘进机恒功率调速系统[J].制造业自动化,2009,01.
- [7] 张涛,汪献忠,田增国.基于自适应PID控制镜面露点仪的设计[J].自动化与仪器仪表,2006.