

# 本科生毕业设计[论文]

系 人工智能与自动化学院

专业班级

姓 名 [REDACTED]

学 号 \_\_\_\_\_

指导教师 张朴、程晶晶

2021 年 10 月 30 日

## 摘 要

本文介绍了几种不同领域中利用电容式传感器进行测量和检测的应用。首先介绍了传感器的类型和电容式传感器的工作原理，其次分析了三种利用电容式传感器的应用，包括：基于电容式传感器的非接触式液位测量系统、基于电容式传感器的嵌入式油箱测量系统、基于电容传感器的车辆检测装置，并分析了各个系统的工作原理。经过分析后发现，电容式传感器相较于其他传感器有诸多优势，在工业生产与测量中起着十分重要的作用。

**关键词：** 电容式传感器；工业测量；车辆检测；液位测量

## Abstract

This article introduces the application of capacitive sensors for measurement and detection in several different fields. Firstly, this article introduces several types of sensor and the working principle of capacitive sensors, then analyzes three applications using capacitive sensors, including: Non-contact Liquid Level Measurement System based on capacitive sensors, Embedded Fuel-tank Measurement System based on capacitive sensors, Vehicle Detection Devices based on capacitive sensors, and analyze how each application system works.

**Key Words:** Capacitive Sensor; Industrial Measurement; Vehicle Measurement; Level measurement

## 目 录

摘要 .....	I
Abstract .....	II
<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 传感器的介绍 .....	1
1.2 电容式传感器 .....	1
1.2.1 电容式传感器工作原理 .....	1
<b>2 电容式传感器的应用</b> .....	2
2.1 基于电容式传感器的非接触式液位测量系统 .....	2
2.1.1 非接触式液位测量系统的原理 .....	2
2.2 基于电容式传感器的嵌入式油箱测量系统 .....	3
2.2.1 嵌入式油箱测量系统的原理 .....	4
2.3 基于电容式传感器的车辆检测装置 .....	5
2.3.1 车辆检测装置的工作原理 .....	5
<b>3 结语</b> .....	7
致谢 .....	8

# 1 绪论

## 1.1 传感器的介绍

传感器技术作为构成信息技术的三大支柱之一，在各类电子器件中起着举足轻重的作用。传感器通常由敏感元件和转换元件组成，能够将接收到的信号转换成电信号或其他信号，使之高效传输，并且成为通信的重要环节。近年来研究者们提出了各种各样的新型传感器，其中主要包括电容式、压电式、压阻式和声学式等。其中，电容式传感器以受温度影响小、测试精度高、分辨率高、迟滞小、灵敏度高、结构简单且应用广泛等优点，受到研究者的广泛关注。

## 1.2 电容式传感器

电容式传感器主要用于将非电量的被测量转换为电容量变化。电容式传感器可用于非接触测量，且体积小，结构简单，被广泛应用于测量压力、液位、振动、位移、加速度等多方面变化量。电容式传感器随着材料，电子技术和集成技术的发展也在不断克服缺点，灵敏度、精度均有提升，广泛应用于一些低压，动态的特殊测量场合。

### 1.2.1 电容式传感器工作原理

由物理知识可知，两个平行金属板组成的电容器在忽略边界效应的情况下，电容为  $C = \frac{\epsilon S}{d}$ 。由公式可知，三个参数在保持其中两个不变的情况下，改变第三个参数，电容器电容就会改变。由此来设计电容器，可分为三个类型：变间距型电容传感器、变面积型电容传感器和变介电常数型电容传感器，分别通过板间距离的位移，极板之间的相对面积和极板间介电常数的变化来改变电容。由此设计出了电容式位移传感器、电容式物位传感等。

近年来随着科学技术的发展，电容式传感器的缺点不断地被克服，应用也越来越广泛。尤其是出现了数字式智能化的电容式传感器，它是一种先进的数字式测量系统。将其测量部件技术与微处理器的计算功能结合为一体，使得测量仪表至控制仪表成为全数字化系统。数字式智能化传感器的综合性能指标、实际测量准确度比传统的传感器提高了很多。

## 2 电容式传感器的应用

### 2.1 基于电容式传感器的非接触式液位测量系统

随着电子技术、计算机技术和通信技术的发展,液位测量技术从传统的接触式测量到非接触式测量,正朝着自动化、集成化、智能化的方向发展,以满足人们对容器液位测量的需求。在测量容器液位时,非接触式液位测量系统具有不与被测液体接触、非浸入式测量、不破坏容器的物理结构和完整性等特点。

非接触式液位测量系统由主控单元、微弱电容测量模块、电容式传感器、容器姿态检测模块、无线通信模块和上位机组成,其系统组成框图如图 2-1 所示。

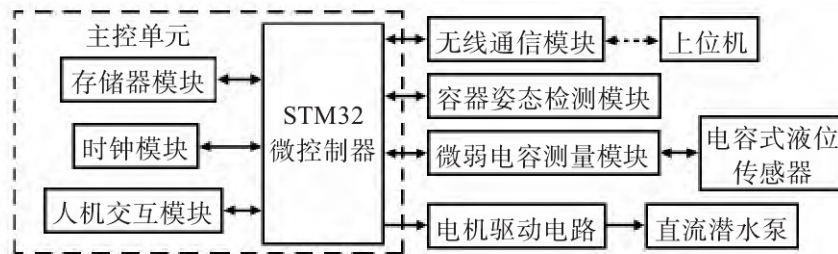


图 2-1

#### 2.1.1 非接触式液位测量系统的原理

电容式液位传感器采用覆铜板进行制作,将电容的两个电极制作在同一个绝缘平面上,构成共面极板电容传感器。在容器液位测量中,将电容式液位传感器粘贴在容器的外壁,用来感应容器内液体液位的变化,并将容器液位的变化信息转换为相应的电容值,实现容器液位信息到电量的转换,接着输出信号被控制系统处理。非接触式液位测量系统的测试平台如图 2-2 所示。

该传感器通过非接触式测量对有腐蚀性、有粘附性、强酸、强碱等液体进行液位测量。以 STM32 作为微控制器,将电容式传感器和三轴陀螺仪、加速度传感器分别安装在容器外壁,获取容器的液位数据和姿态数据;然后进行分析和处理,转换为相应的液位值和液体体积;最后将测量参数通过无线模块传输给移动设备进行显示。液位测量系统电路简单,性能可靠,既可以测量液位值,又可以测量液体体积。

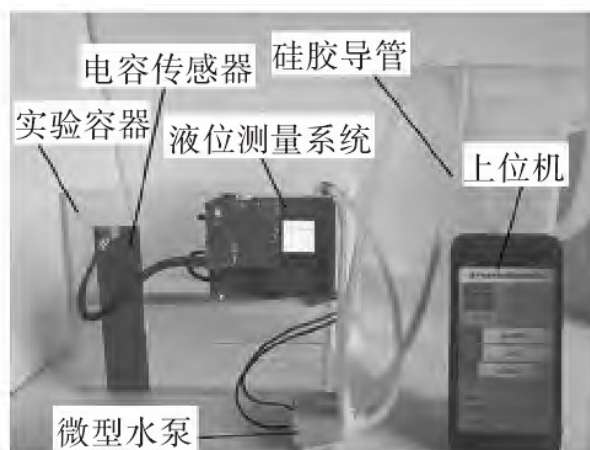


图 2-2

## 2.2 基于电容式传感器的嵌入式油箱测量系统

在当前交通工具的油箱油量检测中，电容式传感器是常用的工具之一。利用电容传感器设计模拟电路，对油箱中的剩余油量进行测量的主要原理是将油箱近似为一个规则的圆柱形容器，并将此容器中液体的体积变化转化为电容传感器电容的变化，进而使用电压来量化电容的变化量。经过对电压的信号处理及放大，获得可以被计算机处理的电压变化数据，计算出油箱的油量。但是该系统有响应速度慢，检测准确度低的问题。

而基于嵌入式平台的油箱液面检测系统，借助于嵌入式主控芯片的高采样率和强大计算能力，优化传统电容式传感器的测量缺陷，能够提供高实时性的剩余油量检测信息。油量检测系统如图 2-3 所示。

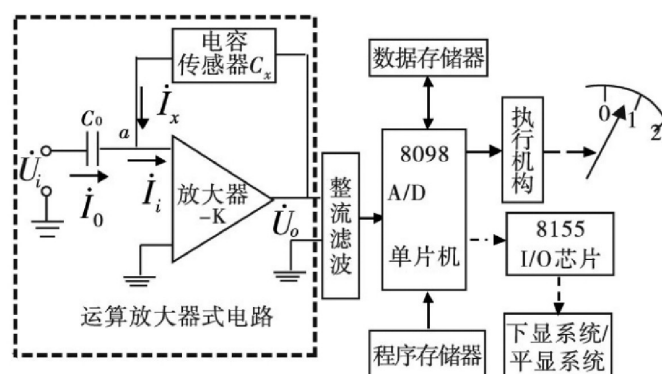


图 2-3

### 2.2.1 嵌入式油箱测量系统的原理

传统的电容传感器基本工作原理是将油箱类比为圆柱形, 利用圆环结构构成电容器 (实际应用中油箱形状多为不规则状), 此处电容极板的全长为  $H$ , 外侧极板的半径为  $r_2$ , 当  $H \gg r_2$  时

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0 H}{\ln(r_2/r_1)}$$

式中:  $C_0$  被设定为油箱空置时的电容数值;  $\epsilon_0$  是标准介电常数;  $r_1$  是内侧极板的测量半径。

在使用电容检测燃油液面高度时, 由于重力因素往往油箱的上半部分为空气 (夹杂有部分燃油蒸汽, 按照空气处理), 油箱的下半部分填充了燃油。因此, 此时油箱整体的电容可以看为上、下部分电容的并联, 见式:

$$C_t = \frac{2\pi\epsilon_l h}{\ln(r_2/r_1)} + \frac{2\pi\epsilon_g (H - h)}{\ln(r_2/r_1)} = C_0 + \Delta C = C_0 + f(h)$$

式中:  $\epsilon_l$  和  $\epsilon_g$  被设定为燃油、空气的介质介电常数;  $h$  为油箱中燃油在测量电容中对应的高度值;  $\Delta C$  是为油箱加注燃油后产生的电容增量。

在式 (2) 的推导过程中, 可以看出变量仅为  $H$  和  $h$ , 当油箱尺寸、所使用固定后, 其他数值均为常量, 并使得燃油增量  $\Delta C \geq 0$  恒成立, 同时燃油增量的数值也与实际燃油液面高度呈现正比关系, 由此, 可以将燃油液面高度的变化转变为电容的变化, 实现对于油箱中燃料剩余量的测量。

在油量测量系统中, 信号采集及处理通过上述的电压式传感器原理实现。传感器将油箱剩余油量信息转化为电压后输出, 输出的电压信号较微弱, 且带有较多的干扰信号, 需要集成运算放大器芯片对信号进行处理和放大; 嵌入式主控芯片可以实现数字式显示油量; 油量计算程序主要完成传感器对信号的采集, 对信号的转化及处理, 并将模拟信号转变为数字信号, 对其进行计算等一系列过程。通过前面一节中的计算公式, 可以获得油量的计算数值, 然而实际应用中油量的计算要考虑多种环境因素的影响。例如, 交通环境的变化、环境温度的变化等。当环境温度变化时, 介电常数会随之变化, 此时要根据温度变化改变传感器的标定数据集; 当运行环境变化时, 油箱内液面可能会改变角度、震荡等, 此时会引起传感器的检测误差, 需要监测加速度计、水平仪等信号, 对油量计算进行修正。



## 2.3 基于电容式传感器的车辆检测装置

目前,用于公路监控系统车辆检测装置的传感器种类有压力、加速度、磁场、电感、超声波、频率、光电、图像传感器等。计算机将这些传感器传输的物理量转换为车辆要素值,如轴数、轴距、尺寸等,用来控制电动栏杆以及其它设备工作。但传统设备通常会有一些问题,例如电感式传感器的抗干扰能力差,功能少;图像传感器费用高昂...而基于电容式传感器的车辆检测装置抗干扰能力强、稳定性好、造价低。配合着红外线装置,除了具有电感式车辆检测装置控制电动栏杆工作的功能外,还能准确统计经过车道的车流量,识别出车辆的部分结构尺寸

### 2.3.1 车辆检测装置的工作原理

检测装置的结构框图如 2-4 所示。传感器采用一种基于四相检测技术的的充放电式电容测量线路,它具有很强的消除杂散电容影响的能力,能精确测量小于几  $pF$  的微小电容,分辨力可达  $0.001pF$ ,灵敏度高于  $1V/pF$ ,且结构简单、成本低廉。

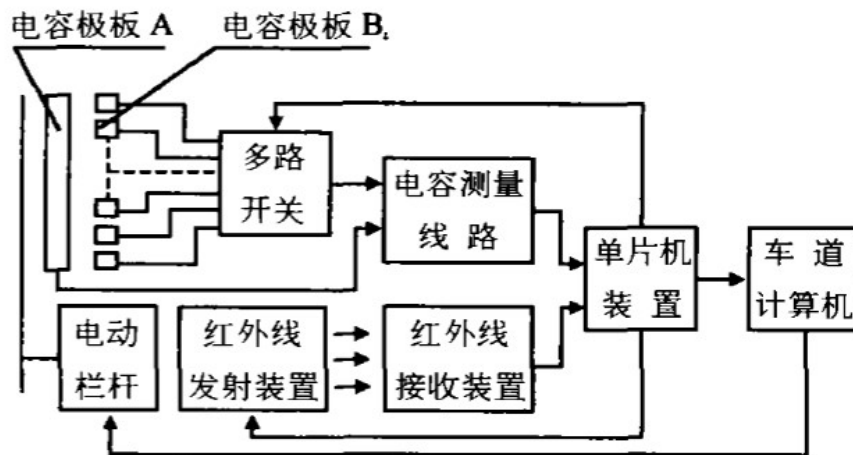


图 2-4

电容极板放在特制减速路垫内。每只路垫长  $250mm$ , 宽  $350mm$ , 内放一只极板  $A$  和 3 只极板  $B$ 。3m 宽的车道可放 11 个路垫, 所有路垫内的极板  $A$  都连接在一起, 极板  $B$  自左向右依次为  $B_1 \sim B_{30}$ 。中部的路垫内装入极板  $A$ 、极板  $B_0$ 、多路开关和电容测量线路见图 2-5。在单片机装置的控制下, 多路开关依次访问极板与  $B$ , 并由电容测量线路将极板  $A$  与  $B_i$  之间的电容值转换成电压。

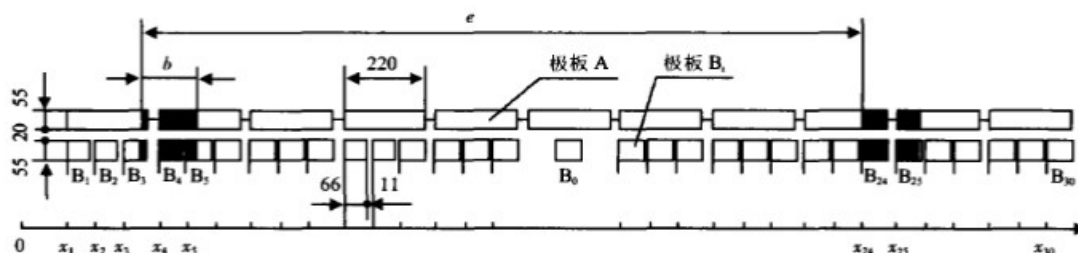


图 2-5 3m 宽车道极板布置

红外线检测装置有 3 只红外线发射管和 3 只接收管，分别位于道路两侧。三对的高度位置各不同，以使经过的各种车辆的车身都至少能阻挡住一对红外线管。

进入收费站的车辆左右 2 只前轮在时间  $t_1$  轧在电容极板  $A$  与  $B_i$  上时，如图 2-6 所示，2 个轮下的电容极板同时产生大于  $1pF$  的电容  $C_1$ ，单片机装置接收到电容测量线路将这 2 个电容信号转换成的电压信号后，控制红外线电路开始工作。经过车道的车辆车身只要能挡住一对红外线管，红外线电路就输出高电平。当车辆的后轮在时间  $t_2$  又轧在电容极板时，再次产生 2 个大于  $1pF$  的电容  $C_2$ 。若车辆有 2 个后轴时，又会在时间  $t_3$  产生  $C_3$ 。当车身全部经过后，在时间  $t_4$  三对红外线管都不被车身挡住，红外线电路输出低电平，单片机装置控制电动栏杆的栏杆臂降落。在栏杆臂降落过程中，若又有车轮轧在电容极板上时，单片机装置控制栏杆臂抬起，以免发生栏杆臂砸车事故。若在红外线装置输出高电平期间，左右两边的电容极板同时产生大于  $1pF$  的电容的次数  $n \geq 2$  时，单片机装置就统计经过车道的车流量一次， $n$  的数值即为车辆的轴数。

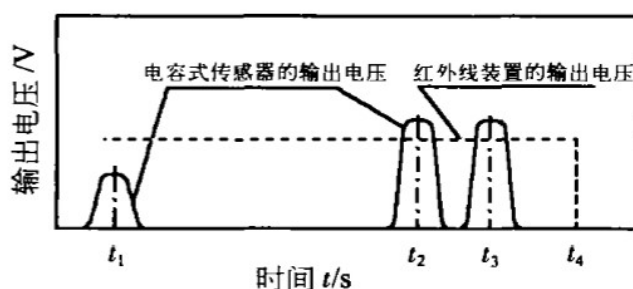


图 2-6

### 3 结语

本篇介绍了几种不同领域中利用电容式传感器进行测量和检测的应用，包括介绍了传感器的类型和电容式传感器的工作原理，分析了三种利用电容式传感器的应用，包括：基于电容式传感器的非接触式液位测量系统、基于电容式传感器的嵌入式油箱测量系统、基于电容传感器的车辆检测装置，并分析了各个系统的工作原理。经过分析后发现，电容式传感器相较于其他传感器有诸多优势，在工业生产与测量中起着十分重要的作用。

## 致 谢

通过学习传感器原理及应用这门课程,我认识到,传感器对现代工业自动化有重要意义,并且让我们的生活变得更加方便。通过这门课程,我对传感器的基本概念及各类传感器的结构有了新的认识,也学习着使用一些传感器进行实验中的测量。我还了解到传感器在具体场景中的应用,比如本文介绍到的液位测量,车辆测量等等。当然,两个月的学习还不足以真正的掌握传感器的使用和设计,未来还需要我们在科研学习中继续学习、应用传感器的知识。在此感谢张朴、程晶晶老师的教学,让我们学到了很多!

## 参考文献

- [1] 屈梦瑶, 易艺, 陆泽青, 杨宗林, 彭雪斌. 基于电容式传感器的非接触式液位测量系统 [J]. 传感器与微系统, 2021, 40(09): 81-84.
- [2] 邱洪亮, 吴克雄. 基于电容式传感器的嵌入式油箱测量系统研究 [J]. 电子世界, 2021(11): 11-12.
- [3] 杨三序. 电容式传感器在车辆检测装置中的应用 [J]. 传感器技术, 2004(9): 74-76.
- [4] 凌艳军. 智能传感器技术在汽车上的应用探讨 [J]. 专用汽车, 2021(10): 103-105.