

储油罐导波雷达液位测量中的滤波器设计

郭芝源, 单志林, 邓仲芬, 李 立

(中国电子科技集团公司第三十八研究所 公共安全技术研究院, 安徽 合肥 230088)

摘要: 导波雷达液位计被广泛用于测量储油罐的油脂液位。但是由于储油罐本身不能满足导波雷达液位计的安装要求, 导致测量液位不准确, 测量结果存在大量噪声。为此, 文中使用测量液位曲线的平滑度作为雷达液位计的置信度, 针对低置信度的测量结果, 使用相邻测量点的液位变化速度特征对测量结果进行滤波后处理, 以有效去除噪声, 从而提高测量结果的准确度。

关键词: 储油罐; 导波雷达; 液位计; 液位测量置信度; 滤波信号处理

中图分类号: TN959.6

文献标识码: A

文章编号: 2095-1302 (2015) 08-0017-03

0 引言

随着油脂储备工作的重视与发展, 油脂监管已成为粮油企业的一项重要工作^[1-11]。由于储油罐体积庞大, 储存油脂多, 直接测量油脂数量或者体积难以实现, 因此, 通常通过测量储油罐的油脂液位、油脂的温度, 结合罐体尺寸、油脂密度随温度变化曲线来计算油脂的体积和质量, 从而实现油脂的监管。因此, 如何实现储油罐液位的准确测量一直是粮油企业中普遍存在的问题^[2-4]。

导波式雷达液位计把导波杆伸入被测液体中, 通过导波杆发射和接收信号。导波雷达液位计虽然需要接触被测液体, 但由于使用了导波杆作为传输介质, 因此, 信号损耗小, 能量比较集中, 回波质量好, 能够测量介电常数很低的介质; 而且, 它还具有方向性好、信号频率低和穿透性好的优点。因此, 导波式雷达液位计在储油罐的油脂液位测量任务中应用十分广泛^[5-11]。

为达到测量精度, 导波式雷达液位计需要满足以下安装要求^[5]:

(1) 必须垂直向下安装导波雷达液位计, 倾斜度最大不能超过 3° ;

(2) 雷达的波束中心距容器壁的距离应大于由波束角、测量范围计算出来的最低液位处的波束半径;

(3) 雷达的波束途径应避免搅拌器等其它障碍物及容器。

但是, 在实际的储油罐中, 液位计的安装位置会受到储油罐结构的限制, 经常无法完全满足上述安装要求。例如, 罐顶内部结构只允许雷达液位计安装在罐壁边上, 使得安装条件(2)无法满足; 另外, 为了将雷达液位计固定在罐顶, 需要根据情况在雷达液位计上增加结构件, 导致雷达的波束

途径不能完全避开结构件的影响等。当液位计的安装要求不完全满足时, 罐壁、障碍物将会产生大量的干扰性回波, 使得液位测量结果中包含噪声, 测量结果不准确。尤其是, 当储油罐中油脂液位接近罐顶, 即雷达液位计距离液面很近时, 这种干扰性回波的影响更加明显。

针对上述问题, 本文利用数字信号处理技术, 通过分析某个液位计一段时间的液位测量结果, 来评估该液位计测量结果的置信度, 即该液位计测量结果的可信程度。根据置信度估计值, 能够从大量仪器中筛选出测量不够准确的液位计。一方面, 提醒维护人员有针对性的进行维修; 另一方面, 后续的信号处理系统能够对低置信度的测量结果进行滤波处理, 滤除噪声信号。本文使用相邻测量点的液位变化速度特征对信号进行滤波。实验表明, 使用基于测量曲线平滑度的置信度估计和基于相邻测量点液位变化速度的滤波器能够有效鉴别并滤除液位测量结果中的噪声信号, 提高液位测量结果的准确度。

1 传统导波雷达液位计液位测量系统

图1所示是已有导波雷达液位计的液位测量系统结构框图。该测量系统由处理器、液位测量模块和信号传输模块构成。此外, 由于在油脂监管任务中, 需要获得油脂密度, 因此液位测量系统通常兼具温度测量模块, 通过油脂温度, 经过查表可以知道在该温度下, 某品种油脂的密度。该系统利用导波雷达液位计获取罐内的液位高度信息, 并转换为4-20 mA的模拟信号, 经过精密电阻采样将电流信号转换为电压信号, 再通过高精度ADC转换为数字信号, 微处理器即可获取储油高度信息, 控制GPRS将信息发送给上位机。

2 置信度估计与滤波器设计

一般的液位测量系统中, 上位机接收到的液位测量结果中可能包含大量噪声, 本文提出一种基于置信度估计的滤波算法, 用于对测量结果进行滤波去除噪声, 从而提高测量精度。

为了有效去除液位测量结果中的噪声,并减少计算量,该算法首先估计测量结果的置信度,针对低置信度的测量结果,使用相邻测量点的液位变化速度特征对测量结果进行滤波处理。

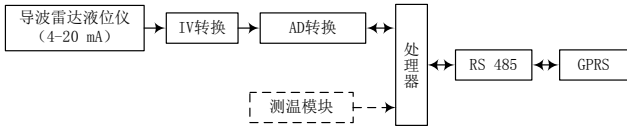


图1 传统导波雷达液位计液位测量系统框图

图2所示是其算法流程,设导波雷达液位计的液位测量结果为 $OriH(i)$, 其中 i 表示第 i 个测量结果, $RevH(i)$ 为处理后得到的液位修正值。算法首先计算当前测量液位曲线的平滑度,从而得到置信度 $Conf(i)$, 对置信度低于或等于设定阈值 $ThrConf$ 的测量结果进行滤波,最后获得 $RevH(i)$ 。

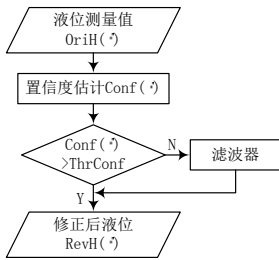


图2 信号处理算法流程图

2.1 置信度估计

在大型储油罐的油脂储存中,油脂储存的时间一般较长,油罐进油、放油的频率较低,因此,油脂数量基本不变,液位仅仅是由于油脂温度变化引起的微小变化。即使是在进出油过程中,由于储油罐截面积大,液位变化的速度也较慢。因此,实际的液位变化曲线应变化较为平缓。通过计算在过去24小时内液位测量结果曲线的平滑度,就能够估计该测量结果的置信度。设 $Dif(i)$ 表示第 i 个观察点的前24小时测量结果曲线的平均一阶差分,如公式(1):

$$Dif(i) = \begin{cases} \frac{\sum_{k=i-N+2}^i |OriH(k) - OriH(k-1)|}{N-1}, & i \geq N \\ +\infty, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$Conf(i) = 10^{-Dif(i)} \quad (2)$$

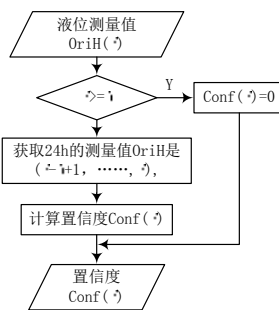


图3 置信度估计算法流程图

图3是上述置信度估计算法的基本流程图。设 $Conf(i)$ 为第 i 个测量结果的置信度,计算公式如公式(2)所示。设

$\frac{\sum_{k=i-N+2}^i |OriH(k) - OriH(k-1)|}{N-1}$ 算子是为了计算相邻测量值的液位变化绝对值的平均

值,该值代表曲线的平滑度,该计算结果的取值范围为 $[0, +\infty)$; 10^{-x} 算子将上述计算结果调整至 $(0, 1]$ 。当 $i < N$ 时,若无法获得前24小时的测量结果,则置信度 $Conf(i)$ 设为0;因此, $Conf(i)$ 的取值范围为 $[0, 1]$, 测量曲线越光滑,置信度越高。在公式(1)中, N 代表24小时内采集的液位测量结果的总个数,设 Δt 表示液位采集间隔时间(单位为分钟), N 的计算方法如公式(3)所示:

$$N = \frac{24 \times 60}{\Delta t} \quad (3)$$

2.2 滤波器的设计

在大型储油罐的油脂储存中,引起实际液位变化的因素有两个:一是油脂温度变化;二是进出油。其中,温度引起的液位变化随着温度不同、罐体横截面积、油脂种类而变化,但都具有变化范围小的特点;油脂的正常进出油作业通常需要持续一定时间,例如在20分钟内液位均在上升或下降,且油脂进出油时液位变化速度应在一定范围内。综上所述,可以通过测量结果中液位的变化速度来判定该测量值是否正常,并修正判定为异常的测量结果。详细的滤波流程如图4所示。

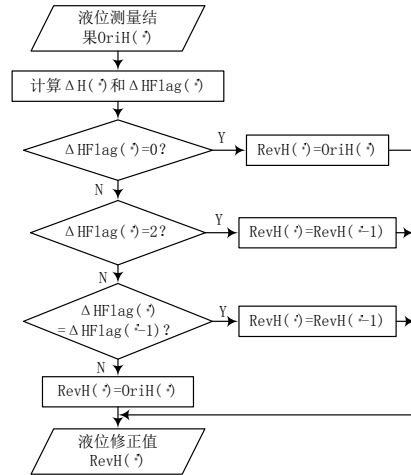


图4 滤波算法流程图

设 Δt 表示液位采集间隔时间(单位为分钟), $\Delta H(i)$ 表示相邻测量点的液位变化速率, $\Delta H(0)$ 初始化为0,当 $i \geq 1$ 时,计算公式如公式(4)所示:

$$\Delta H(i) = OriH(i) - RevH(i-1) \quad (4)$$

另外,设 $\Delta HMaxT$ 表示在 Δt 时间间隔内,温度变化引起的液位最大变化速度; $\Delta HMaxR$ 表示在 Δt 时间间隔内,进油引起的液位最大变化速度;同理, $\Delta HMaxF$ 表示在 Δt 时间间隔内出油引起的液位最大变化速度。上述 $\Delta HMaxT$ 、 $\Delta HMaxR$ 和 $\Delta HMaxF$ 参数可由经验设定,或液位测量结果中统计得到。当 $\Delta H(i)$ 在 $[-\Delta HMaxT, \Delta HMaxT]$ 之间时,认为液位变化是由温度引起的,当前测量值较为准确,因此 $RevH(i) = OriH(i)$; 当 $\Delta H(i)$ 在 $(\Delta HMaxR, +\infty)$ 时,液位升高的速度超过了进油的最大速度,认为该测量值为噪声,

则取前一个测量结果的修正值,即 $RevH(i) = RevH(i-1)$;同理,当 $\Delta H(i)$ 在 $(-\infty, -\Delta HMaxF)$ 时,液位降低的速度超过了出油的最大速度,认为该测量值为噪声, $RevH(i) = RevH(i-1)$;当 $\Delta H(i)$ 在 $(-\Delta HMaxF, -\Delta HMaxT)$ 时,认为当前时刻油罐正处于放油工作中;当 $\Delta H(i)$ 在 $(\Delta HMaxT, \Delta HMaxR)$ 时,认为当前时刻油罐正处于进油工作中。为计算方便,使用中间 $\Delta HFlag(i)$ 代表 $\Delta H(i)$ 的取值范围, $\Delta HFlag(0)$ 初始化为 0,当 $i \geq 1$ 时,计算公式如公式(5)所示:

$$\Delta HFlag(i) = \begin{cases} 0, \Delta H(i) \in [-\Delta HMaxT, \Delta HMaxT] \\ -1, \Delta H(i) \in (-\Delta HMaxF, -\Delta HMaxT) \\ 1, \Delta H(i) \in (\Delta HMaxT, \Delta HMaxR) \\ 2, \Delta H(i) \in \{(\Delta HMaxR, +\infty) \cup (-\infty, -\Delta HMaxF)\} \end{cases} \quad (5)$$

3 实验结果及其分析

3.1 实验数据

为验证算法的有效性,本文采集了 210 个储油罐液位测量系统的实际测量结果。该液位测量系统使用本文所述的测量系统实现,储油罐位于我国某省内的多个粮库,测量结果为 2014 年 4 月份某天的数据。210 个数据样本中,有 26 个样本包含大量噪声。然后对这些测量结果使用本文滤波算法进行处理。

3.2 实验设置

系统液位采集间隔时间 Δt 设为 5 分钟,此时 $N=288$,为简化算法,忽略各油罐体积不同、油脂品种不同的影响,设各油罐的 $\Delta HMaxT$ 、 $\Delta HMaxR$ 和 $\Delta HMaxF$ 参数相同。使用 184 个不含噪声样本做参数统计,可得 $\Delta HMaxT$ 为 0.008 m, $\Delta HMaxR$ 为 0.06 m, $\Delta HMaxF$ 为 0.06 m。

3.3 实验结果

3.3.1 置信度估计

设样本 $X(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots)$ 代表某个导波雷达液位计的液位测量结果,由公式(1)计算出第 i 个测量结果对应的平均一阶方差 $Dif(i)$,实验通过计算所有样本点中满足 $i \geq N$ (即 $i \geq 288$) 条件的平均一阶差分 $Dif(i)$,发现在 184 个不含噪声的样本中,最大的 Dif 为 6.0379383E-4,而 26 个含噪声样本中,最小的平均一阶差分为 1.1807509 E-3,如表 1 所列。

由上述结果可知,平均一阶差分能够很好地区分不含噪声样本与含噪样本,因此,由平均一阶差分计算得到的置信度能够代表测量结果的可信程度。

表 1 两类样本的平均一阶差分计算结果

	最大平均一阶差分	最小平均一阶差分
184个不含噪声样本	6.0379383E - 4	2.4863014E - 5
26个含噪声样本	2.3175494E - 1	1.1807509 E - 3

3.3.2 滤波算法

根据上述实验结果,将置信度阈值 $ThrConf$ 设为 $10^{-0.001}$,图 5 所示的是某个液位测量结果在滤波前后的比较。其中上图表示滤波前的液位测量结果曲线,下图为滤波后的曲线。

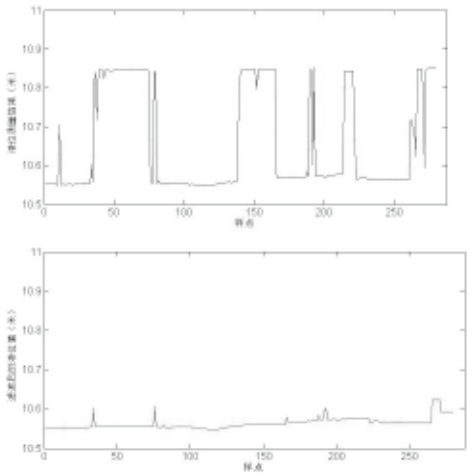


图 5 某个液位测量结果在滤波前后的比较

3.3.3 实验分析

结合实验结果可知,平均一阶差分能够很好地区分含噪声样本与不含噪声样本,因此,基于平均一阶差分的置信度具有对含噪测量结果的良好鉴别能力。本文所述的滤波算法实验结果说明,本文提出的滤波算法能够有效滤除测量结果中包含的噪声信号,可对液位测量结果进行修正,提高液位测量的准确度。

4 结 语

本文提出了一种基于置信度估计的滤波算法用于去除导波雷达液位计液位测量结果中的噪声。该算法首先通过测量结果曲线的平滑度来估计测量结果的置信度,对于置信度低的测量结果,采用基于液位变化速度的特征进行修正,从而得到修正后的液位值。经实验验证,该算法能够有效滤除噪声,提高导波雷达液位测量结果的准确度。

参考文献

[1] 王乃民. 油罐多液位远程监控系统研究 [D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2008.
[2] 白云峰, 周俊. 常见油罐液位计的性能特点及选用 [J]. 石油工程建设, 2001 (1): 52-53.
[3] 李明. 植物油罐油脂计量技术的应用 [J]. 中国油脂, 2011 (2): 67-69.
[4] 王友善, 张培旻. E+H 储罐测量系统在油罐计量的应用 [J]. 工业控制计算机, 2010, 23 (9): 121-122.
[5] 徐敬波, 李天峰. 成品油检尺与雷达液位计测量的误差分析 [J]. 计量技术, 2010 (12): 33-35.
[6] 张军团, 程德福, 林君. 储油罐液位监测雷达设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2004 (11): 1040-1042.
[7] 宜洁琼. 雷达物位仪在重油油罐液位计量的应用 [J]. 中国科技博览, 2012 (36): 619-620.

(下转第 21 页)

心技术,激励区域的边沿控制是决定定位是否准确的前提,激励半径大小直接决定着定位能否实现。125 kHz 低频优点是波长长,不容易被遮挡和吸收,但缺点就是不容易发射,也就是说激励距离很难做远。要提高通信距离,就只能提高激励器发射信号的功率。

图2所示是125 kHz 低频激励器的设计框图,图中包括电源部分、125 kHz 谐振电路和2.45 GHz 收发模块。其工作原理是由处理器PWM调制出125 kHz 信号,由OOK调制经125 kHz 谐振电路发射出去,实现125 kHz 信号覆盖。其中125 kHz 谐振电路即桥式放大电路,实质就是一个由L、C组成的振荡选频电路^[5],选出需要的频率分量并滤除不需要的频率分量,谐振条件为: $\omega L - 1/\omega C = 0$,回路电流 $I = I_0 = V_s/R$,可达到最大且与电压源同相,谐振时回路呈现纯电阻特性。

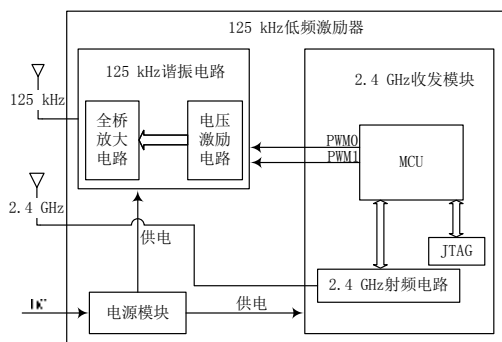


图2 125 kHz 低频激励器设计框图

通过调节电压激励电路的输入电压值或125 kHz 天线的大小可以调节激励半径的大小,本设计的125 kHz 低频激励器的激励半径为1~7 m 可调。

3 双频标签低功耗设计

一般的有源RFID 标签只有2.45 GHz 单频,采用周期唤醒方式与阅读器进行通信,为达到标签的使用寿命,低功耗设计一般都是延长唤醒间隔,减短唤醒后发射状态时间并且

不会与阅读器进行应答确认,发射完后立即进入深睡眠模式^[6],也无法进行发射时的碰撞检测,更不能进行精确定位。本文中的双频标签是将125 kHz 和2.45 GHz 结合起来,用于低频唤醒、定位和高频数据通信,标签被125 kHz 唤醒后进行信息上报,并与阅读器握手通信,检测到冲突时做延时上报。双频标签的低功耗设计一方面是软件低功耗设计,优化时槽和冲突检测算法,硬件方面采用业界公认的低功耗NORDIC 微处理器和125 kHz 接收芯片,待机电流3 uA,工作电流5 mA,采用两颗2032 纽扣电池供电,使用寿命2 年左右。

4 结语

本文提出了基于半有源RFID 技术的泳池定位救生系统,重点讲解了125 kHz 低频激励器的工作原理和双频标签低功耗设计。可以通过所述定位救生系统很方便地进行大型游泳馆的安全管理,通过上位机服务器可以实时观察游泳池内每一个佩戴双频半有源RFID 标签的游泳者的位置和情况,包括游泳者安全状态和图像信息,节约人力成本、减少发生意外事故的响应时间、确保游泳者的生命安全,具有很高的应用前景和社会价值。

参考文献

- [1] Klaus Finkenzeller. 射频识别技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 王文峰, 耿力. 基于射频识别的实时定位系统技术研究[J]. 信息技术与标准化, 2007(7): 21-24.
- [3] 张颖, 李凯, 王建伟. 一种有源RFID 局域定位系统设计[J]. 电子设计工程, 2012(5): 68-70.
- [4] CHOI J, LEE W. Comparative evaluation of probabilistic and deterministic tag anti-collision protocols for RFID networks[A]. 2007: 38-49.
- [5] HIMMESLSTOSS F A, EDELMOSER K H. High dynamic class-D power amplifier[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998(4): 1329-1333.
- [6] Jochen Essel, Daniel Brenk, Juergen Heidrich. A highly efficient UHF RFID frontend approach[A]. 2009: 1-4.

作者简介: 朱佳立(1985—),男,浙江杭州人,学士,工程师。主要研究方向为RFID 射频基带。

杨登辉(1987—),男,河南驻马店人,硕士,工程师。主要研究方向为射频电路设计。

季瑞松(1978—),男,江苏海门人,硕士,工程师。主要研究方向为硬件电路设计。

(上接第19页)

- [8] 杨晨松. 雷达液位计用于油罐计量[J]. 计量技术, 2009(11): 75-76.
- [9] 杨景臣, 张刘富, 王新刚. 油罐物位用雷达液位计的分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(1): 273.

作者简介: 郭芝源(1985—),女,博士。研究方向为信号与信息处理。

单志林(1984—),男,硕士。研究方向为通信与系统。

邓仲芬(1987—),女,硕士。研究方向为控制科学与控制工程。

李立(1980—),女,博士。研究方向为电子科学与技术。

- [10] 刘伟佳. 导波雷达液位计信号处理模块设计[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.

- [11] 吴亮. 食用油油罐液位雷达测量技术[J]. 中国油脂, 2005(1): 59-60.