

利用数据融合实现流型的在线识别^{*}

党民¹ 熊继有¹ 李井矿² 廖仕孟³ 韩波³ 曾汇川³

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院

2.华北石油管理局第二钻井工程公司 3.中国石油西南油气田分公司)

党民等.利用数据融合实现流型的在线识别.天然气工业,2004;24(12):68~70

摘要 两相流的流动是一个复杂的多变量随机过程。认识流型的形成机理和特征以及流动规律一直是两相流领域的重要研究方向。传统的流型识别方法(流型图和流型转换判别)能够预测流型及其转换,但是要应用它来获取流体的实时流动参数还是有较大的难度。而在石油天然气工程(钻井、固井、集输管道等)应用中,往往需要实时了解流动参数以确定系统的运行状况。针对这个问题,为掌握实时流动参数的特性而进行了较深入的研究。文章提出了一种基于数据融合理论两相流流型识别新方法,并设计了流型的在线识别系统。研究表明,该识别方法具有置信度高,容错性好,性能稳定,减小了传感器的不确定误差,降低了单个传感器的性能要求等优点。这种方法对两相流流型具有实时识别的能力,在实际工程中具有应用价值和前景。

关键词 两相流 流型识别 数据融合 多传感器

两相流流动是一个非常复杂的多变量随机过程,想利用单一的数学模型或单一的坐标系来刻画、区分所有工况下的流型几乎是不可能的。随着计算机技术的发展,从两相流流体局部空间区域获取多个信息,应用流动成像技术进行微观测量;或应用模式识别、系统辨识、神经网络等理论和方法进行两相流的流型辨别已成为国内外许多学者研究的课题和两相流参数检测的发展方向^[1,2]。利用数据融合技术对各种检测手段或模型判别所得出的实验结果进行融合处理,降低了单个传感器的性能要求,减小了传感器的不确定误差,是一种行之有效的办法。

数据融合起源于现代军事战争,其定义为^[3]:对多源来的数据和信息进行多方面的关联、相关和综合处理,以更好地进行定位、特征估计,并完全和适时地对情况和威胁进行评估。这个概念可以推广到对事件的预测。本文以提出一种基于多传感器信息融合识别两相流流型的方法,并设计了流型识别系统。结果显示,该识别方法稳定可靠,流型识别结果与实际情况相吻合,是一种具有发展前景和工业应用价值的技术。

一、数据融合的处理步骤

1. 确定置信距离及置信距离矩阵

为了反映传感器所测得的数据之间的偏差的大

小,引进置信距离测度的概念^[4]:

$$d_{ij} = 2 \int_{x_i}^{x_j} p_i(x | x_i) dx \quad (1)$$

$$p_i(x | x_i) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_i} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{x - x_i}{\sigma_i} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

d_{ij} 为概率密度曲线 $p_i(x | x_i)$ 之下及区间 (x_i, x_j) 之上的面积,称为第 i 个传感器和第 j 个传感器测量值的置信距离测度, d_{ij} 越小, i, j 两个传感器的测量值越相近,偏差越小,否则偏差就越大。因此也称 d_{ij} 为第 i, j 两个传感器的融合度,事实上 d_{ij} 可以借助误差函数求得^[5]:

$$d_{ij} = \operatorname{erf} \left(\frac{x_i - x_j}{\sqrt{2} \sigma_i} \right) \quad (3)$$

由 d_{ij} 可得到 m 个传感器的决策距离矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

2. 确立关联矩阵

根据置信距离矩阵和阈值 r 可以得到传感器的关联矩阵:

$$D = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中: $r = \begin{cases} 0 & i=j \text{ 或 } d_{ij} > r \\ 1 & d_{ij} \leq r \end{cases}$

* 本文系“国家自然科学基金资助项目”,重大研究计划(90210022)。

作者简介:党民,1976年生,2001级硕士研究生。地址:(610500)四川省成都市新都区。电话(028)83032923。

若 $r_{ij} = r_{ji} = 0$, 则认为第 i 个传感器和第 j 个传感器相互不支持; 若 $r_{ij} = r_{ji} = 1$ 则表示第 i 个传感器和第 j 个传感器相互支持; 若 $r_{ij} = 1, r_{ji} = 0$ 则第 i 个传感器支持第 j 个传感器而第 j 个传感器不支持第 i 个传感器。它们的关系可以用有向图来表示, 见图 1。

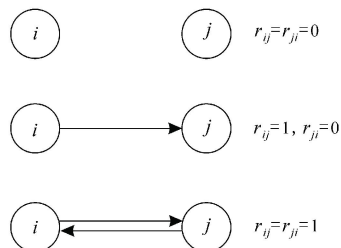


图 1 传感器决策有向图

3. 确定有效数据

如果一个传感器被一组传感器所支持, 这个传感器的读数是有效的, 若一个传感器不被其它传感器所支持, 或只被少数传感器所支持, 则这个传感器的读数是无效的, 应该把这样的读数删除。用传感器测量流型参数时, 所有有效数据的集合称为融合集, 融合集中的数据个数称为最佳融合数。一般来说, 一个传感器要被总数一半以上的传感器所支持。因此, 最佳融合数 l 一般不小于传感器总数的 60%。

4. 确定最优融合数据

计算最优融合数据的常用方法有两种: 总概率的最大值法和极大似然法。考虑到极大似然法具有方法简单、计算量小等优点, 本文将采用极大似然法对有效数据进行融合:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^l \frac{x_i}{\sigma_i}}{\sum_{i=1}^l \frac{1}{\sigma_i}}$$

式中: θ 为融合集 $\{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ 的最优融合数据; σ 为均方差。

一般来说, 常见流型(分层流、波浪流、环状流和弹状流)的压差信号值是不同的并且处于特定的区域内, 根据实验我们可以确定常见流型的压差信号值范围, 并用其建立流型判别规则。对多个传感器所测量到的压差信号进行融合可以计算出最优融合数据, 利用流型判别规则对计算得来的最优融合数据进行判别就可以实现流型的识别。

二、系统设计

1. 硬件结构

系统硬件结构图如图 2 所示。

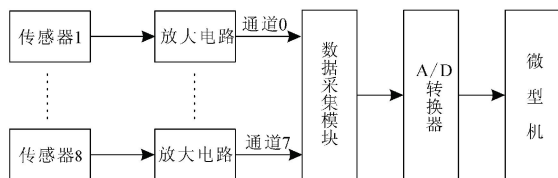


图 2 系统硬件结构图

(1) 放大电路。传感器将接收到的压差信号转换为电压或电流等模拟信号输出, 但这种信号往往较微弱, 因此必须添加放大电路对传感器输出的信号进行放大。该放大电路由运算放大器组成, 可对传感器输出的信号进行调理, 将传感器输出的电压信号进行放大和阻抗变换, 变换成数据采集模块能够接收的信号。

(2) 数据采集模块。采样模块采用智能模拟量数据采集模块, 功能和性能都很好。一个采样模块有 8 个通道, 可以同时采集 8 路不同信号, 即可以连接 8 个传感器。

(3) A/D 转换。转换电路可采用台湾产的 AD-AM 4520, 也可以采用更便宜的转换卡, 一般要求带 5000 VDC 光电隔离功能, 以便能对计算机加以保护。

(4) 微型机。计算机系统可采用一般台式微型机(PC 机), 对于实验室有强电磁干扰的情况, 也可以采用工控机作为数据采集处理系统的核心设备。

2. 软件设计

整个系统软件按功能可分解为相应的程序模块, 各模块之间的逻辑关系如图 3 所示。

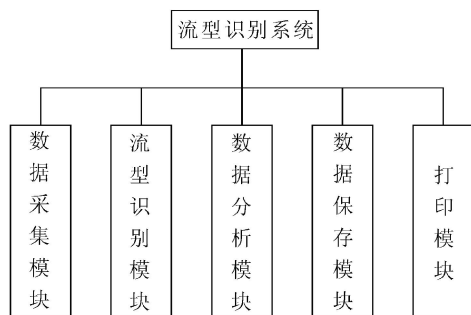


图 3 系统软件框图

(1) 数据采集模块。数据采集模块主要完成如下功能: 采集传感器输出的电压或电流信号, 并将模拟信号转换成计算机能够识别的数字信号。

(2) 流型识别模块。流型识别模块主要依据上述的数据融合原理, 利用采集到的数据进行流型识

别,并给出相关结果,流型识别的结果见表 1。

表 1 流型识别结果

流型种类	识别样本数	识别正确样本数	识别率/%
环状流	200	166	83.00
段塞流	400	349	87.25
分层流	50	41	82.00
泡状流	60	49	81.67

(3) 数据分析模块。数据分析模块主要用来计算流型的特征参数(如压降、持液率等)。

(4) 数据保存模块。数据保存模块将采集到的数据保存到数据库中,以便进行进一步的处理。

(5) 打印模块。曲线打印模块主要用于打印系统所希望的诸如文字说明、日期、曲线、主要特征参数等,并控制自动打印、屏幕打印、立即打印等不同的打印方式。

三、结 论

(1) 利用采集到的数据,选用几种流型来测试本算法对两相流流型的识别能力,表 1 为其识别结果。结果表明本融合算法具有较好的识别能力。

(2) 基于多传感器的信息融合识别两相流流型

的新方法综合利用了传感器的有效信息,减少了传感器的不确定误差,降低了对单个传感器的性能要求,置信度高,容错性好,成本低,算法简单运行速度快,能满足系统实时处理的要求,是一种很有发展前途的流型识别方法。

(3) 本方法只能识别常见的几种流型,对于未知流型建议用模糊数学和神经网络加以改进,使之能够实现流型的智能识别。

参 考 文 献

1 李海青. 两相流参数检测及应用. 浙江杭州:浙江大学出版社,1991

2 吴新杰,王师. 两相流流型辨识方法研究. 计量学报, 2000;21(4):286~290

3 康耀红. 数据融合理论与应用. 陕西西安:电子科技大学出版社,1997

4 陈福增. 多传感器数据融合的数学方法. 数学的实践和认识,1995;20(2):11~16

5 何光渝,雷群. Delphi 常用数值算法集. 北京:科学出版社,2001

(收稿日期 2004-06-23 编辑 钟水清)