

水工模型水位的自动控制优化算法

蔡 辉 ,马洪蛟 ,孙典红 ,苏杭丽

(河海大学交通与海洋工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :在水工模型试验中 ,微机按照给定水位与实测水位的偏差来自动调节尾门的开启度 ,以达到控制水位的目的 .由于受控水位的滞后特性 ,常导致水位超调 ,严重影响了物理模型的稳定性 .针对水位控制中的这一问题 ,根据水位变化特点探讨水位控制的优化控制算法 ,提出 PID 控制与模糊控制相结合的控制方法 .实验证明 ,这种方法可使水位控制精度得到提高 .

关键词 :水工模型 ;水位 ;自动控制 ;优化算法

中图分类号 :TV131.61 文献标识码 :A 文章编号 :1000-198X(2002)05-0095-03

随着科学技术的发展 ,自动控制技术的应用越来越广泛 ,水工物理模型自动化测控水平也在不断提高 ,并已实现了流速、水位的自动化采集以及流量、水位的自动控制 .在水工模型试验中 ,水位的控制精度关系到模型试验的质量 .由于受模型尺寸、水位滞后特性等因素的影响 ,传统的 PID 算法在控制水位时常产生超调现象 ,控制精度难以令人满意 ,在非恒定流模型试验中其控制特性更差 .针对这一问题 ,笔者对模型水位控制要素作了进一步的探索 ,提出了 PID 控制与模糊控制相结合的控制方法 .

1 水位自动控制原理

在水工模型试验中 ,调节尾门的开度可以控制模型水位的高低 .微型计算机通过水位仪实时采集模型实际水位 ,并与给定水位相比较计算出偏差值及方向 ,按适当的控制算法计算出控制量 ,经 D/A 转换后输出控制电压信号 ,送入直流伺服控制器来控制直流电机的转向和转速 ,改变尾门的开度 ,从而调节模型水位 .通过不断检测水位偏差值来修正控制电压大小及方向 ,使模型水位逼近给定水位值 ,实现水位的计算机自动控制 .根据试验需要 ,水位给定值可以是恒定的 ,也可以是变化的 ,计算机可以精确模拟出恒定流或非恒定流水位过程 .

水位控制系统框图如图 1 所示 .

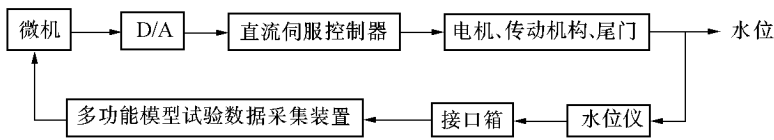


图 1 控制系统框图

Fig.1 Block diagram of controlling system

水位自动控制目标用下式表示 :

$$| H_{\text{给}} - H_{\text{测}} | \leq \Delta H$$

式中 : $H_{\text{给}}$ ——给定水位(期望水位) ; $H_{\text{测}}$ ——实测水位 ; ΔH ——允许的偏差量 .

2 控制 算 法

在水位过程控制中 ,通常采用 PID 控制算法 .考虑到尾门的动作具有可保持历史位置的特性以及增量式算法的诸多优点 ,选用增量式 PID 控制算法^[1]

收稿日期 2001-07-05
作者简介 蔡辉(1961—) ,男 ,江苏海门人 ,副研究员 ,主要从事计算机量测与控制研究 .

$$\Delta U_i = K[e_i - e_{i-1} + \frac{T}{T_i}e_i + \frac{T_d}{T}(e_i - 2e_{i-1} + e_{i-2})]$$

式中 ΔU_i ——第 i 时刻控制量的增量; K ——比例系数; T ——采样周期; T_i ——积分时间; T_d ——微分时间; e_i ——第 i 时刻的偏差; e_{i-1} ——第 $i-1$ 时刻的偏差; e_{i-2} ——第 $i-2$ 时刻的偏差。

在 PID 控制中,采用增量形式时(即输出 ΔU_i),一般比例项和微分项比较大,失控时由于执行机构在一个采样周期内不能达到计算机输出指定的动作速度,即丢失了控制信息,从而使系统动态品质变坏,过渡过程加长。因此,实际控制中对 PID 算法又作了进一步改进,同时针对上述问题从软件方面对控制算法进行了修改。

2.1 输出范围限制

为防止伺服控制器饱和,将控制量输出范围限制为

$$U_{\min} \leq U_i \leq U_{\max}$$

2.2 比例项改进

由 PID 增量算法可知,比例系数 K 在 PID 控制作用中影响最大。比例系数取值不当时,将影响到控制系统的静态和动态特性。比例系数 K 太大时,虽然动态响应快,但其过冲现象会导致系统工作不稳定。比例系数 K 太小时,又往往导致系统响应速度跟不上。而在水工模型试验中,尤其是非恒定流条件下,水位控制过程是跟踪设定水位曲线的过程,水位过程曲线的曲率是动态变化的,为了更好地跟踪水位变化过程,在控制软件中加入模糊控制方法,仿照人脑的模糊推理过程,确定推理法则,并作出模糊决策,对比例项进行动态取值。

2.3 微分项改进和干扰信号的抑制

PID 控制算法是根据偏差计算来实行控制的,如果干扰信号使偏差 e_i 增大,那么干扰信号对调节会有较大影响。对于尖峰脉动干扰,在控制程序中采用剔除粗大值后取平均的方法加以滤波。除此之外,再用单独修改微分项的方法抑制干扰影响,在此用了 4 点中心差分法,它不是直接应用当前时刻的偏差 e_i ,而是用过去和当前 4 个采样时的偏差的平均值作为基准^[2],即

$$\bar{e}_i = (e_i + e_{i-1} + e_{i-2} + e_{i-3})/4$$

然后再通过加权求和形式近似构成微分项,即

$$\frac{T_d \Delta e_i}{T} = \frac{T_d}{4}(\frac{e_i - \bar{e}_i}{1.5T} + \frac{e_{i-1} - \bar{e}_i}{0.5T} + \frac{e_{i-2} - \bar{e}_i}{0.5T} + \frac{e_{i-3} - \bar{e}_i}{1.5T})$$

整理后得

$$\frac{T_d \Delta e_i}{T} = \frac{T_d}{6T}(e_{i-1} + e_{i-2} - e_i - e_{i-3})$$

2.4 PID 调节器参数的选择

在水位实时过程控制中,要求被控过程是稳定的,对给定值的变化能迅速跟踪,超调量小,在不同干扰下,系统输出能保持在给定值,控制变量不宜过大,系统保持平稳。同时满足上述要求是困难的,但必须满足主要要求而兼顾一般要求。参数一般通过实验来确定,也可通过凑试或实验公式来确定。笔者在软件中设置了一参数设定窗体,它可随时改变 PID 参数、动态了解参数对控制效果的影响情况,这样使得 PID 参数的设定和调节比较直观、方便。

3 应 用

实践表明,用改进后的优化控制算法,恒定流控制的实时精度优于 $\pm 0.4 \text{ mm}$;非恒定流实测控制曲线基本上与给定水位曲线重合,精度优于 $\pm 0.8 \text{ mm}$ 。改进前恒定流及非恒定流实时跟踪控制曲线如图 2、图 3 所示,改进后的非恒定流实时跟踪控制曲线如图 4 所示。

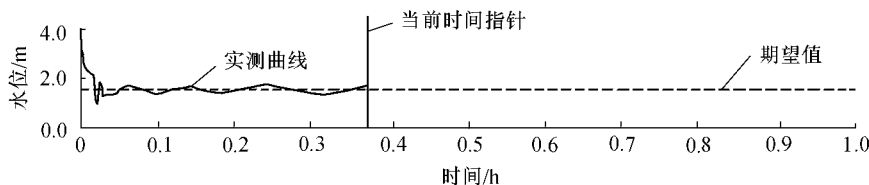


图 2 改进前恒定流实时跟踪控制曲线

Fig.2 Real time steady flow tracing and controlling curve before improvement

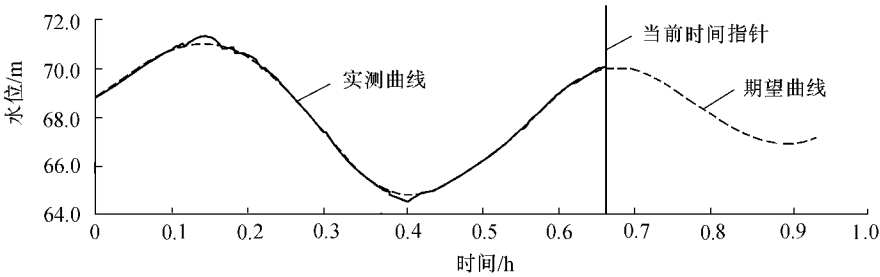


图 3 改进前非恒定流实时跟踪控制曲线

Fig.3 Real time unsteady flow tracing and controlling curve before improvement

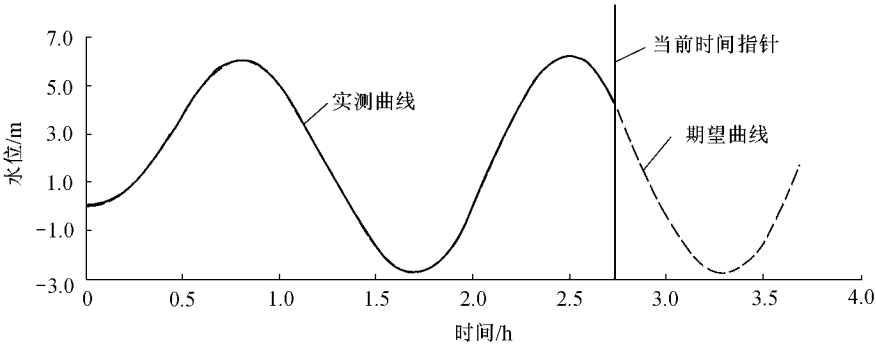


图 4 改进后非恒定流实时跟踪控制曲线

Fig.4 Real time unsteady flow tracing and controlling curve after improvement

4 结 语

笔者在水工模型水位计算机跟踪控制中,从多个方面入手改进传统的 PID 控制算法,有效地提高了物理模型试验水位模拟精度。笔者认为,利用计算机智能化技术更加深入地研究模糊控制法则,有希望进一步提高水位过程控制的静态和动态品质。从原理上看,本文介绍的优化控制算法也可应用于其他领域的过程控制。

参考文献：

[1] 王锦标,方崇智.过程计算机控制[M].北京:清华大学出版社,1992.23 ~ 40.
[2] 涂时亮,张友德,陈章龙.单片微机软件设计技术[M].重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1988.364 ~ 418.

Optimized algorithm for automatic control of water level
in hydraulic model experiments

CAI Hui , MA Hong-jiao , SUN Dian-hong , SU Hang-li

(College of Traffic and Ocean Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : In hydraulic model experiments , a microcomputer automatically controls the opening of a tail gate according to the difference between the designed and calculated water levels , so as to control the water level . In consideration of the fact that the hysteresis of the controlled water level always leads to the over adjustment of water level , which seriously affects the stability of physical models , an optimized algorithm for automatic water level control , combining PID with the fuzzy control algorithm , is given based on the characteristics of water level variation . Experiments indicate that the algorithm can improve the precision of water level control .

Key words : hydraulic model ; water level ; automatic control ; optimized algorithm