

微内核结构的测控系统软件^①

潘 锐, 王建林, 赵利强, 于 涛

(北京化工大学 信息科学与技术学院, 北京 100029)

摘 要: 测控系统软件是测控系统重要组成部分, 直接影响着测控系统的运行。提出了一种基于微内核结构的测控系统软件设计方法, 该方法以消息数据处理为中心, 通过统一的消息接口将测控任务插件化, 利用受控的消息传递机制实现测控软件各个功能模块间的交互, 并在微内核单元管理下进行 HPFS-HRRN 的测控任务调度; 基于虚拟仪器技术, 设计和实现了水平分层结构替代纵向层次结构的测控系统软件。实验测试表明, 将该方法应用到 L-乳酸发酵过程测控系统软件设计中, 所构建的测控系统具有较高的可靠性、通用性和可扩展性。

关键词: 微内核结构; 测控系统软件; 消息处理; L-乳酸发酵

Control System Software Based on Micro-Kernel

PAN Rui, WANG Jian-Lin, ZHAO Li-Qiang, YU Tao

(School of Information Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: As an important component of the measurement and control system, control system software influences on the running of the measurement and control system directly. A new method to design the measurement and control system software based on Micro-Kernel architecture was proposed. On the basis of message processing, measurement and control task was turned into a type of plug by a unified message interface, the vertical hierarchy of in measurement and control system software development was replaced by hierarchical structure under measurement and control task of HPFS-HRRN controlled by Micro-Kernel unit. The measurement and control system software was designed by virtual instrument. The experiment results show that this system software has the ability of extension, good flexibility, and strong reliability.

Key words: micro-kernel architecture; measurement and control system software; message processing; L-lactic acid fermentation

测控系统软件的质量直接影响着测控系统稳定运行。软件体系结构是对软件系统的结构、行为和关键属性进行的高度抽象表达, 是系统软件需求与实现之间的桥梁^[1]。软件体系结构作为控制软件复杂性、提高软件系统质量、支持软件开发和复用重要手段之一, 已经发展成为软件工程的一个重要的研究领域^[2]。

随着模块化思想和面向对象技术在测控系统设计过程中的广泛应用^[3,4], 测控软件功能需求增加, 各模块、对象之间继承、依赖关系趋于复杂。传统宏内核思想将多个模块集中在内核下协助工作, 导致内核规模变大, 其可靠性难以得到保证。微内核

结构使内核最小化, 只包含核心的机制而不包含策略, 微内核提供的消息受控传递机制使得各个任务独立运行^[5]。微内核结构采用水平分层结构替代传统层次化结构, 保证了各个模块的功能完整性和系统的可靠性、可扩展性。因此, 基于微内核体系结构的测控系统软件设计方法具有重要理论意义和实际应用价值。

本文提出了一种基于微内核体系结构的测控系统软件设计方法, 给出了 HPFS-HRRN 测控任务调度策略及算法, 应用虚拟仪器技术实现了测控系统软件的设计。

① 收稿时间:2011-04-18;收到修改稿时间:2011-05-16

1 微内核结构的测控系统软件设计方法

微内核结构的测控系统软件设计是将测控系统软件最基本的功能放在微内核中，非基本的服务和应用程序在微内核之上构造，并作为单独的服务进程在用户模式下执行。微内核实现用户态测控任务管理、消息传递等核心功能，用户态插件实现数据采集和存储、算法实现和人机交互，各用户态程序通过微内核提供受控消息传递机制进行数据交互。微内核体系结构的测控系统软件结构如图 1 所示。

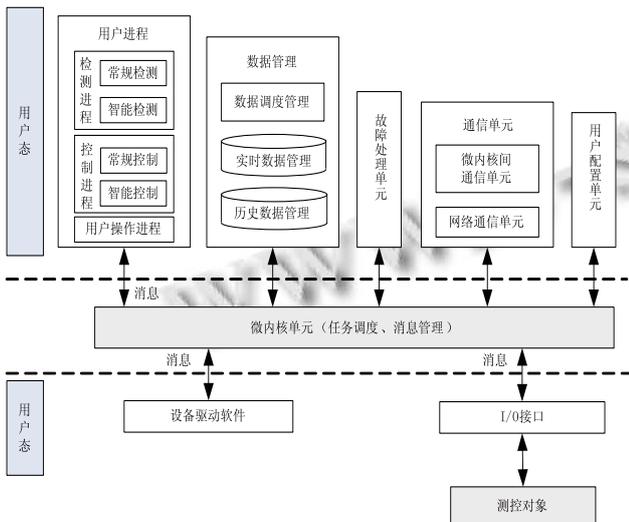


图 1 微内核结构测控系统软件体系结构

微内核是测控系统软件的核心，实现了原子级的服务，为构造更复杂的功能提供支持，由任务调度和消息管理组成。处于用户态的各个单元插件通过微内核提供的受控消息传递机制进行通信的，这种受控的消息传递机制形成了一条“软总线”，测控系统可以根据需要动态地插拔用户态插件，以达到良好的灵活性和可扩展性。

设备驱动软件和 I/O 接口负责对测控对象进行数据采集和控制；用户进程实质是具体的测控任务；数据管理单元负责管理和维护测控系统的历史数据和实时数据；用户配置单元负责处理和接受用户对测控系统的相关配置；微内核间通信单元负责微内核间的数据通信，实现分布式测控系统的任务调度和迁移；网络接口软件负责用户应用层软件与系统各个单元模块进行数据的交互，并提供网络化的功能。

同时，微内核体系结构的测控系统软件设计上满足了以下特点：简单、最小权限和机制与策略分离，

有效保证测控系统软件的完整性、可扩展性和可靠性。

2 测控系统软件任务调度方法研究

2.1 测控系统任务分析

测控任务的分类是系统软件任务调度的基础。本文总结了测控系统测控任务的特点：

① 测控系统是一个混合型任务集的实时系统，按照测控任务对时间的不同要求可分为实时周期性任务、实时突发性任务和非实时任务。实时周期性任务在系统运行时按照一定结构顺序执行，有着较高优先级；实时突发性任务有着很高实时性要求，并拥有最高优先级，这类任务必须在其截止期内响应；非实时任务对时间要求不高，具备周期性和非周期性双重特征。

② 任务之间存在相关性。测控任务一般非独立存在的，存在时序、资源等约束关系。

③ 系统在某一确定时刻的并发任务数量有限。测控系统测量和控制对象明确，功能相对简单。

2.2 测控任务状态划分

测控任务状态的区分是测控任务调度实现的前提。根据测控任务活动特点，将测控任务分为新建态、就绪态、阻塞态、运行态和退出态，测控任务总是处于这五种状态某一态，状态管理模型如图 2 所示。

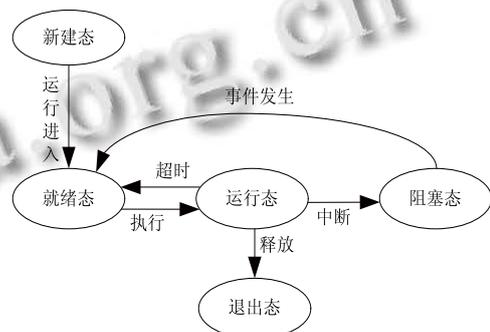


图 2 测控任务状态管理模型

当测控任务刚创建，但还没有加入到可执行进程组里面时处于新建态；当满足某种条件时，激活该任务，进入就绪态；处于就绪态的测控任务被系统调度执行后，处于运行态并享有 CPU 控制权；测控任务在运行过程中，因某种条件的满足使得该任务交出 CPU 控制权(如有高优先级任务加入到就绪态)而被中断，中断后就处于阻塞态，阻塞态的任务可以重新回到就绪态，等待再次

被调度执行；当任务执行完成后，进入退出态。新建态对应于任务开始，退出态标志任务结束。

2.3 测控系统任务消息描述

消息是测控任务存在的唯一标识。测控任务消息分为静态消息和动态消息。

静态消息由测控任务编号、任务功能简述、任务对象、激活类型、附加信息组成。① 测控任务编号，系统中唯一区分任务的标识；② 任务功能简述，描述任务的性质，如某种测量或控制；③ 任务对象，描述任务测量或控制的对象；④ 激活类型，分为定时激活、手动激活和智能激活，定时激活用于周期性执行的任任务，手动激活支持软模式的外部操作激活，智能激活指由某种策略自动激活；⑤ 附加信息，补充描述任务属性。

动态消息主要包括任务优先级、任务状态、任务时间属性。① 任务优先级，分为最高、高和普通级 3 种，由测控任务在整个系统运行过程中重要性决定，与时间有关，一般情况下控制任务比测量任务优先级高；② 任务状态，描述任务当前运行的状态；③ 任务时间属性，包括新建时间、等待时间、调度时间、执行结束时间、运行周期等，这些时间是测控系统任务调度重要影响因素。

2.4 基于消息的测控任务 HPFS-HRRN 调度算法

有效、稳定地管理测控任务是测控系统最基本要求。混合任务集的实时测控系统中，任务调度是影响系统性能的决定性因素。

基于优先级调度具有算法简单、系统开销小等特点，广泛用于多任务实时测控系统任务调度^[6]。响应比是衡量测控任务执行的相对延迟的重要指标，直接反映着测控系统任务调度性能。将最高优先级调度(Highest Priority First Served, HPFS)与最高响应比优先调度(Highest Response Ratio Next, HRRN)相结合作为测控系统软件调度规则，可以很好避免采用单一优先级调度导致低优先级任务饿死的情况发生。如图 3 所示，为 HPFS-HRRN 调度流程图。

响应比定义为任务周转时间与服务时间的比值。

$$R = \frac{(T_w + T_s)}{T_s} \quad (1)$$

其中， R 为响应比； T_w 等待处理时间； T_s 期待服务时间。每一个测控任务等待时间是已知的，期待服

务时间可以根据过去历史时间来近似估计。

$$S_{n+1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{n} T_n + \frac{n-1}{n} S_n \quad (2)$$

其中， T_i ：测控任务执行时间； S_i ：测控任务第次期待服务时间； S_1 ：测控任务第一次预测时间。距离当前测控任务较近的時刻更能反映出测控任务将来的行为，所以 S_{n+1} 可以表示为：

$$S_{n+1} = \alpha T_n + (1-\alpha)S_n = \alpha T_n + (1-\alpha)\alpha T_{n-1} + \dots + (1-\alpha)^j \alpha T_{n-j} + \dots + (1-\alpha)^n S_1 \quad (3)$$

为一个常数加权因子($0 < \alpha < 1$)，用于确定距现在比较近或比较远的观测数据的相对权值，通过(3)式可知，观测值越远，具有的权值越小。HRRN 的调度过程中，规定单个测控任务 R 值最小，所有测控任务的 R 平均值最小。

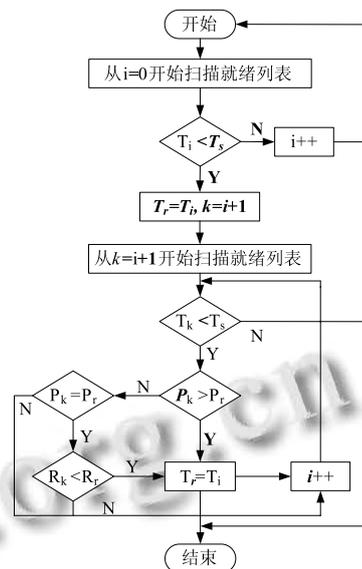


图 3 HPFS-HRRN 调度流程图

HPFS-HRRN 调度算法描述如下：设编号为 i 的任务为 T_i 、优先级 P_i 和响应比 R_i ，测控任务调度结果 T_r ，系统当前时间为 T_s ， $T_i < T_s$ 表示测控任务 i 需要执行调度， P_i 值越大优先级越高。

① 依次对就绪态队列进行扫描，若找到任务 i 满足 $T_i < T_s$ ，将 T_i 传给 T_r ，并执行步骤②；若未找到，直接转入⑥；

② 从当前位置 $i+1$ 开始重新扫描就绪态队列，取出第一个满足 $T_k < T_s$ 的测控任务 K ，若不存在，直接转入⑦；

- ③ 若 $P_k > P_r$, 则用 T_k 替换任务 T_r , 并转入步骤②;
- ④ 若 $P_k < P_r$, 则转入步骤②;
- ⑤ 若 $P_k = P_r$, 并且 $R_i < R_r$, 用 T_k 替换任务 T_r , 否则转入步骤②;
- ⑥ 若 T_r 为空, 将 T_i 加入就绪态队列;
- ⑦ 直接调度执行任务 T_i ;

其中, 调度算法②、③和④实现了 HPFS 调度, ⑤实现了 HRRN 策略。

3 实验与分析

选取 L-乳酸发酵作为实验对象。控制器选择 NI 公司 PXI-8186, 数据采集为 PXI-6259 多功能 DAQ 采集卡。L-乳酸发酵过程测控系统需要实现发酵过程多个参量在线测量, 同时需要软测量算法实现难测关键生物参量在线估计, 各测控任务存在关联。

测控任务由微内核的消息管理和任务调度模块实现测控任务的并发调度管理, 该模块采用最高优先级线程实现。实时周期测量任务采用高优先级线程实现, 处于并发线程。任务创建时, 向微内核进行消息注册, 微内核通过解析测控任务消息中任务优先级建立动态任务列表, 计算任务响应比, 依据 HPFS-HRRN 规则进行任务调度。报警单元具有最高优先级, 由事件驱动实现。表 1 为软件执行子系统和优先级配置, 图 4 为 L-乳酸发酵测控系统软件程序结构。

表 1 执行子系统和优先级配置

功能模块	执行子系统	优先等级
微内核单元	Other1	Highest
PH、温度在线测量	Data acquisition	High
泵的在线控制	Other2	High
人机交互	Standard	Normal
报警单元	Other1	Highest
OPC、参数设定	Instrument I/O	High
软测量算法 (LS-SVM)	Other2	High

该软件通过检测单元实现 PH 值、温度和转速等周期性采集, 通过 LS-SVM 软测量算法在线估计葡萄糖浓度, 并根据葡萄糖浓度消耗量进行在线优化补料控制。软件连续运行稳定, 实时周期性采集任务、温度报警任务和其它测控任务响应及时, 关联任务执行正常并且触发响应及时, 测控任务流程执行正确。表 2 为测控系统性能测试, 图 5 为基于 PXI 的 L-乳酸发

酵测控系统系统实物图。

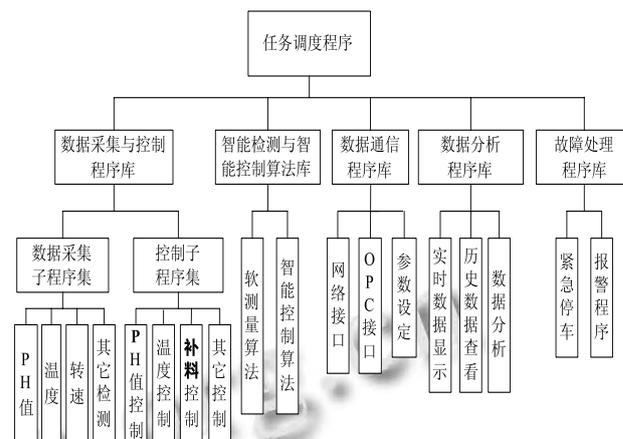


图 4 L-乳酸测控软件结构图

表 2 L-乳酸发酵测控系统性能测试

功能模块	响应时间	测试结果
报警	<50ms	正常
PH 值、温度、转速在线测量	<200ms	正常
PH 值、温度、补料在线控制	<150ms	正常
并发任务调度	<500ms	正常
实时显示	<500ms	正常
网络通信	<300ms	正常



图 5 L-乳酸测控系统实物图

4 结语

提出的基于微内核结构测控系统软件设计方法, 利用受控的消息传递机制实现测控软件各个功能模块之间的交互, 有效地降低了各个模块之间耦合度, 提高了测控系统软件可靠性。应用该方法所设计的测控系统软件能够适应测控任务变更需求, 具有良好的稳定性、可靠性和可扩展性。

(下转第 216 页)

5.2 离心刻度标牌示例

图15是具有离心刻度的标牌图,也是万用表,虽然看上去很复杂,但每一条弧与刻度线的绘制规律是一样的,以直流档(DCV)为例,刻度弧起始角度45度,终止角度135度,弧半径40毫米,圆弧圆心(0,-12),离心圆心即刻度线圆心(0,-12.4),刻度线均分圆弧50格,可见两个圆心相差很少,但标牌刻度是很精密的,差一点都不行,系统按照前面的方法可方便的绘制出圆弧与刻度线。

6 结语

利用ObjectARX2008与VS2008中的C#的结合针对标牌行业进行离心刻度标牌的AutoCAD二次开发,拓宽了AutoCAD二次开发的范围,改进了现有标牌绘制方法,解决了现有绘制方法在圆弧与刻度线离心的情况下不能自动获得该刻度线的不等半径,不能自动得到刻度线与圆弧的交点并绘制离心刻度线的技术问题,减少了绘制时间,提高了工作效率。

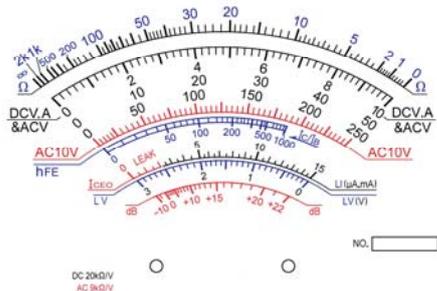


图15 离心刻度标牌

(上接第192页)

参考文献

- Hofmeister C, Kruchten P. A general model of software architecture design derived from five industrial approaches. *The Journal of Systems and Software*, 2007,80(1):106-126.
- 梅宏,申峻嵘.软件体系结构研究进展. *软件学报*,2006,17(6):1257-1275.
- 同向前,薛钧义.嵌入式系统测控软件的结构化设计. *计算机*

参考文献

- 王大鹏,张立文,张国梁,等.ObjectARX中结合MFC开发AutoCAD ARX应用程序. *计算机辅助工程*,2001,10(4):55-58.
- 童时中,李平.二次开发是CAD取得实效的关键环节. *电子机械工程*,1999,(4):64-68.
- 赵雪.中文AutoCAD 2006标准教程.西安:西北工业大学音像电子出版社,2005.3-10.
- 杜立,赵韩,董玉德,陈兴玉,等.基于ObjectARX齿轮设计系统的开发与研究. *机械设计与制造*,2008,(12):75-77.
- 孙江宏,丁立伟,米洁.AutoCAD ObjectARX开发工具及应用.北京:清华大学出版社,1999.
- 薛长健,黄靖.AutoCAD 2000高级使用及开发.北京:人民邮电出版社,2000.413-496.
- 老大中,赵占强.AutoCAD 2000 ARX二次开发实例精粹(ObjectARX).北京:国防工业出版社,2001.5-82.
- 杜刚,刘东学,张磊.基于ObjectARX的AutoCAD二次开发及应用实例. *机械设计与制造*,2004,(3):30-32.
- 李长勋.AutoCAD ObjectARX程序开发技术.北京:国防工业出版社,2005.
- 吴红丹,梅树立,李丽,等.采用ObjectARX2006的多段线自动生成及编辑. *工程图学报*,2007,(2):179-182.

工程,2002,27(8):43-44.

- 杨永安,冯祖仁,杜小宁.面向测控的运载火箭仿真设计与实现. *系统仿真学报*,2004,16(11):2507-2510.
- 潘清,张晓清.操作系统微内核技术研究. *软件学报*,1998,9(8):609-612.
- 邢建生,王永吉,刘军祥,曾海涛,等.一种静态最少优先级分配算法. *软件学报*,2007,18(7):1844-1854.