

中国科学院 水利水电科学研究院
水利电力部

科学研究论文集

第 18 集

(自动化、计算技术、测试仪器)

水利电力出版社

内 容 提 要

本集共有19篇科研论文,包括以下三个方面的内容

1.水电站的自动控制和监测系统,水轮机调速器的合理设计和协联新技术,水轮发电机的失磁规律与保护。

2.计算技术在有关工程网络压缩、三维有限元自动检查、混凝土坝抗滑稳定分析、水电厂群短期经济运行以及水情电报实时处理系统和开关量自动控制等方面的应用。

4.同步起震机、无线雨量遥测装置、高精度数字位移计的研制和应用。

本集可供从事水电站自动化、计算机、测试仪器等方面的设计、科研、运行管理的技术人员以及大专院校有关专业的师生参考。

中国科学院
水利电力部 水利水电科学研究院

科学研究论文集

第 18 集

(自动化、计算技术、测试仪器)

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 14.75印张 332千字

1985年2月第一版 1985年2月北京第一次印刷

印数0001—4100册 定价3.50元

书号 15143·5582

目 录

富春江水电厂分布式计算机控制系统·····	王金生 (1)
应用动态规划法实现水电厂负荷最优分配·····	屠明德 (15)
富春江水电厂综合自动化一期工程实时操作系统 HRCS-1·····	刘良彬 (27)
富春江水电厂多微机分布系统一期工程屏幕显示功能及软件·····	陈美林 (36)
提高事件记录系统的可靠性和分辨率的研究·····	钟道国 (45)
水电厂实时监控系统中模拟量数据的采集和处理·····	苏开佛 (54)
应用微型机实现脉冲量的采集和处理·····	陈咸铭 (65)
转桨式水轮机数字式协联新技术·····	张颖珠 (72)
水轮机电液调速器的合理设计和技术改进·····	常兆堂 (83)
大型水轮发电机的失磁规律及保护方案·····	许可达 (94)
广义工程网络压缩·····	王明义 谢 鹰 (105)
混凝土坝抗滑稳定分析程序 ASSAP 的数学模型·····	宋敬廷 (117)
电力系统中梯级水电厂及水电厂群短期经济运行·····	罗予如 (137)
三维有限元网络的自动检查·····	曾利庆 (149)
水情电报实时处理系统·····	古林涛 楼锡山 田玉英 孙晓霞 (156)
在通用数字电子计算机上实现开关量自动控制·····	张恩民 (167)
YC-77无线雨量遥测系统·····	陶记崑 佟立夫 (183)
TQJ-4型同步起振机及其在工程抗震中的应用 ·····	王炳娟 孙继增 陶惠珍 刘远征 (194)
5CB-10A型高精度数字位移计·····	柯金炼 王仁武 朱登林 (216)

富春江水电厂分布式计算机控制系统

王 金 生

【提要】 本文总结了富春江水电厂分布式计算机控制系统的主要研制经验和计算机系统的功能设计。其主要目标是提高电厂经济和安全运行水平，其中最优化发电控制功能，可增加发电量约1.7~5.4%，经济效益显著。文中还讨论了计算机控制系统的系统结构和软件结构的特点。提出了在研制分布式计算机系统时应妥善解决多任务与系统资源的动态匹配问题。通过对Petri网进行扩展提出了分布式计算机系统的有向图模型，以及模拟分析方法和防止资源争夺与“死锁”的措施。文中指出，水电厂应用计算机控制系统，是实现企业现代化、提高企业经济效益的重要措施。

一、概 述

富春江水电厂为日调节水库、低水头水电厂，装有5台60兆瓦水轮发电机组，经过230千伏送电线路与华东电力系统相连。电厂主辅设备运行已趋稳定，具备了实现综合自动化，进一步提高运行性能的条件。为了提高电厂的经济和安全运行水平，我们为富春江水电厂研制了一套计算机监控系统。计算机的应用，使电厂在运行中可以执行人工无法实现的复杂运算，求得电厂的实时最优运行方式。电厂在计算机指导下实行优化运行，可以增加全厂发电量约1.7~5.4%。仅以此项经济效益计算，电厂装设计算机控制系统的费用，在一年左右即可收回。计算机系统可以对主要设备的运行参数和状态进行全面监视，提高设备安全运行水平。计算机控制系统可以较精确保持电厂主要运行参数值，保证供电质量。在计算机监控系统中，可以采用现代屏幕显示技术，及时地将全厂运行状态和参数集中显示在彩色显示屏幕上，丰富多采的画面，可以充分满足监控的多种需要。它与全厂运行日志自动打印功能相配合，大大改善了运行人员监控的条件，提高了安全运行水平和调度的灵活性。

计算机系统结构设计为星形结构分布式计算机系统，它有较强的容错能力；较好的价格性能比；较易实现；通讯结构有较强的适应能力；系统易于扩展。此种结构适用于中型和大型水电厂。

根据我国水电厂自动化工作的经验和电厂当前实际情况，整个计算机控制系统分成两个阶段分期来实现：一期工程实现实时监测，以取得经济运行和安全监测的实际效益，但不要求直接控制机组和断路器。在取得一定经验后，二期工程实现计算机的闭环控制。一期工程的工程量较小，但可以收到经济运行与安全运行的实效，它可以作为一个完整系统

长期运行,它也是水电厂计算机监控系统的一种模式。对于我国相当多的水电厂来说,要在短期内取得经济运行和安全运行的实效,这是更为现实可取的一种自动化系统。这种系统在条件具备时,易于转为闭环控制系统。

富春江水电厂分布式计算机监控系统,是我国水电厂第一个分布式控制系统,研制工作中缺乏经验,并且受到设备条件等限制,不完善之处,希望得到指正和帮助。

二、计算机系统的监控功能和效益

富春江水电厂计算机监控系统的主要目标是:提高电厂的经济运行水平,提高电厂的安全运行水平;提高电厂的供电质量,保证电网与用户对电厂有功与无功功率的需要,以及频率与电压的质量;在技术上具备减少运行值班人员的条件,为提高劳动生产率提供必要的条件之一。计算机系统主要实现目前的常规自动装置和人工难以完成的功能。

(一) 水库经济运行(非汛期)

根据水文信息测报系统实时计算所得24小时流量过程线,以减少日调节水头消落值为目标,在调度给定负荷调整范围内,进行24小时负荷曲线建议方案的计算,方案可供调度选择采用。目前运行中日调节水头消落值可达1~2米,如消落值减少15厘米,即可增加发电量约1%。实现本功能所需条件和获得的效益十分明确,只要电力系统负荷分配有调节的余地,就可以得到这个效益。本功能需与库区水文信息测报系统配合工作,安排在二期工程中实施。

(二) 最优发电控制

最优发电控制实现两项功能:满足电力系统对电厂有功功率的需要,保证机组最优组合与负荷最优分配。此项功能执行一系列算法,其中的核心算法是:采用动态规划法,以耗水量最小为目标,在给定总功率下,求机组最优组合与负荷最优分配。动态规划法是一种耗费时间和占用内存多的算法,我们采用了疏密网格法,大大加快了计算速度,并减少了内存需要量,5台机组最优负荷分配能在调度与运行要求的时间内给出结果。在一期工程中,计算机求得的优化运行方式以图形和字符命令形式显示在彩色显示屏幕上,运行人员按照显示内容执行开停机与增减负荷的操作。待取得一定运行经验后,二期工程可实现闭环控制。一期工程中最优发电控制有以下具体功能:

1. 存储信息:存储当日与次日24小时负荷计划。
2. 定时优化计算:定时按全厂总功率当前修正值进行机组组合与负荷分配优化计算。
3. 自动保持总功率:两个时段无新的修正值输入时,计算机系统自动保持原给定的总有功功率值,并保持优化的机组组合与负荷分配。
4. 人工召唤计算:在两次定时计算之间,或在定时计算进行中,要求改变负荷时,运行人员可给入新功率值进行人工召唤计算。计算机优先执行人工召唤计算,并自动将被中断的定时计算任务(如果有的话)注销。
5. 按给定开机台数优化分配负荷:为适应电力系统难以预计的负荷急剧变化,电厂有时须保持一定容量的旋转备用,计算机可以在指定开机台数条件下,按新的功率修正值

实现机组间负荷优化分配。

上述最优发电控制功能，较充分考虑了电力系统的各种要求，为运行人员提供了方便的监控条件。

实现机组最优组合与负荷最优分配，可以增加发电量，增加值的大小，国内尚无统计资料，国外文献提供的估计值约为0.5~3%。富春江水电厂是我国第一个由计算机实现水轮发电机组实时优化运行方式计算的电厂，较精确求得其实效益是有意义的。根据富春江水电厂已有的运行日志记录数据，按一个工作日各机组实际负荷分配可求得实际日耗水量，采用同一个全厂日负荷记录由计算机可求得日负荷优化分配方式下的全厂耗水量，简称日优化耗水量。6个工作日实际耗水量与优化耗水量的比较结果如下表所示。

日 期	实际耗水量(万方/日)	优化耗水量(万方/日)	节 水 率 (%)
77.5.12	13738.0	13169.5	4.0
77.5.16	17608.7	17114.8	2.7
79.3.21	5477.4	5381.3	1.7
79.5.—	9680.4	9380.9	3.0
79.7.3	4751.3	4491.4	5.4
79.9.9	5915.2	5648.0	4.4

不同月份的日负荷曲线，具有不同的负荷水平，应先取对全年负荷有一定代表性的工作日。上述比较结果说明，实现计算机指导下的优化发电，在不同负荷情况下，可增加发电量1.7~5.4%。富春江水电厂多年平均年发电量约9.2亿度，当发电量增加1.5%时，一年左右即可将本计算机系统一期工程的投资全部收回。富春江水电厂实现优化运行的实际效益对于大中型水电厂应用计算机具有典型意义。

最优发电控制除运行方式计算功能外，还具有运行方式数据处理功能，即可提供一系列对运行有指导意义的数据。如全厂实际日耗水量与优化日耗水量；机组检修后连续停机小时统计与接近时限的处理对策；机组无功功率极限值；全厂功率因数；机组运行小时统计等。这些功能有助于提高全厂运行水平。

(三) 全厂电压自动调节和无功分配

富春江水电厂230千伏母线是华东电力系统负荷交换的枢纽之一，要求电厂将该母线电压控制在给定上下限值范围内，同时应满足系统的无功需要。计算机系统以三项子功能达到上述要求。

1) 计算机存储本季节一天24小时各时段的230千伏母线电压给定上下限值。

2) 计算机按各时段电压上下限值，自动将电压控制在给定范围内，相应需改变的无功功率平均分配给运行中的机组。

3) 运行中的机组同时可按照给定无功功率值供应无功负荷。

在一期工程中，2，3项子功能，在计算机系统指导下，由运行人员操作完成，二期工程实施闭环控制。

(四) 安全监控

计算机系统对全厂大量的运行状态和参数进行全面监视,当出现异常状态或将出现异常状态时,及时以鲜明的画面向运行人员报警,运行人员能及时发现和处理故障,提高了全厂安全运行水平。

1. 模拟量监视

对全厂机组、开关站的电气与非电气参数进行监视,计算机存储的公用数据,每2秒更新一次。参数值越限时,自动显示报警画面,同时自动打印模拟量越限记录表以备查。二期工程中,将对部分参数增加趋势分析及相关量记录等功能。

2. 开关操作记录

计算机系统对全厂开关操作以实时时间自动记录,自动显示操作记录画面,同时打印全厂操作记录表。

3. 脉冲量处理

全厂电度量以脉冲量形式送入计算机系统,计算机对全厂32路电度量累积求和,自动打印记录。

在二期工程中,还要增加下述功能:执行机组的起停、调相与发电方式的转换和按优化运行方式计算结果控制发电机有功功率与无功功率值等。

(五) 全厂事件记录

以1毫秒分辨能力对全厂继电保护装置和断路器作动作顺序记录。事故动作时,自动显示报警画面,同时自动打印事件记录表。此分辨能力确保分辨出全厂任一种事故一系列动作中的第一个动作,帮助运行人员准确迅速查明事故原因。

(六) 全厂运行状态显示和自动打印

屏幕显示技术为电厂提供了新型的灵活的监控手段。一期工程彩色屏幕显示装置提供四类功能共12幅画面。

1. 人机联系画面:运行人员向计算机系统送入数据。

2. 运行方式画面:显示运行方式命令和当前运行状态。

3. 参数报表画面:向有关调度上报的数据表。

4. 自动报警画面:开关量事故动作和模拟量越限自动报警。

自动打印具有自动报警随机打印和定时打印两种功能,共有7幅表格。

屏幕显示和自动打印功能有助于运行人员全面、及时、准确地掌握全厂重要运行状态,减少重复性的繁冗的抄表任务,并提高了制表的准确性,从而改善了运行监控条件,提高了电厂安全运行水平。

(七) 人机联系功能

一期工程提供了人机联系功能,使运行人员可以在必要时干预计算机系统的工作和掌握计算机系统的工作状况。运行人员可以通过人机联系功能进行以下工作:

1) 向计算机系统输入电厂运行参数的上下限值,如功率、电压、电流等,电厂的日负荷计划,以及其它运行限制条件。

2) 命令计算机系统进行即时的优化运行计算。

3) 命令计算机系统显示和打印指定项目和内容。

4) 对计算机系统进行在线调试, 对单个处理单元进行离线调试。

计算机监控系统为电厂增加的几项重大的互有联系的功能, 它不仅使电厂局部环节的运行性能得到某种程度的改善, 且使电厂整体的经济运行和安全运行性能有了质变的提高, 可以显著提高电厂的安全可靠性和经济效益。

三、计算机系统结构与配置

水电厂生产过程是分布在不同的地理位置上进行的, 全厂性的控制功能通常是采用单项功能装置实现的, 而全厂的监控则要求集中在中控室统一进行。所以水电厂适于采用分级控制系统, 实行分散控制和集中监视相结合。近十年来, 分级控制系统有了很快的发展。初期的分级控制系统, 其结构多为中央机采用相当规模的小型计算机, 控制终端由布线逻辑实现。大规模集成电路式微型机飞速发展起来以后, 计算机系统结构中分布处理技术得到了迅速发展。由于它具有许多优点, 很快地被引入工业过程控制系统中, 出现了分布式计算机控制系统。这种系统便于实现分散分级控制, 具有容错能力高、功能强、性能价格比高等优点。它是计算机控制系统中极有发展前途的一种结构。

(一) 分布式计算机控制系统

分布式计算机系统在理论上和实践上都已取得了引人注目的进展, 在系统结构上, 它发展了星、环、树、弦环、阵列、方体、全互连、单总线、多总线和混合连接等多种结构, 并实现了动态重新配置。目前国外有一些专业机构对分布式计算系统的基本特征给予了说明。美国电气电子工程学会计算机学会分布计算技术委员会认为: “分布式计算系统是一个包含多个互连的处理资源的系统, 这些资源能在全系统范围的控制作用下, 对单一问题进行合作求解, 而很少依赖集中的过程、数据或硬件”。英国国家科委计算机科学委员会认为: “分布式计算机系统是一个包含多台独立而又互相作用的计算机系统, 这些计算机对一个共同问题进行合作求解”。并不是所有的多机系统都可称为分布系统。例如多处理机系统, 其共享存储器成为处理机通讯路径的一个组成部分, 并不具有分布计算系统的主要特征。分布式计算机控制系统是引用了分布计算系统对工业过程控制适用的理论和技术发展起来的, 已有的分布计算机控制系统有着多样化的结构。总的说来, 它们的共同特点是: 系统由多个能独立执行任务的计算机互连而成, 各计算机在总的操作系统管理下, 共同合作执行统一的实时控制任务。在工业过程控制中得到较成熟应用的系统结构按照处理机之间通讯处理和硬件互连方式分类有: 总线系统、环形系统和星形系统。在总线系统与环形系统中, 全部处理单元均接到总线或环形总线上, 由总线控制逻辑决定各处理单元对总线的占用和通讯的源与目的地, 处理单元的总数受总线带宽限制。总线多采用同轴电缆构成。在星形系统中, 各处理单元经专用通讯线连接到中央管理单元, 由中央管理单元决定同时提出通讯申请的各处理单元的通讯顺序, 各通讯线路可以同时传送信息, 每条线路上的通讯负担不重, 可以采用普通屏蔽双绞线。处理单元总数不受通讯线路带宽限制。为提高系统容错能力, 可采用双中央管理单元组成的双星形结构。当系统中有较多的处理单元时, 系统通讯波特率可接近同轴电缆组成的总线系统的通讯率。上述三种类型系

统均有成套工业产品。

(二) 富春江水电厂分布式计算机系统结构与配置

富春江水电厂计算机控制系统采用星形结构。主要优点是：通讯线路及接口较简单，易于实现；处理单元易扩展，便于分期实现；系统结构易扩展，可从单星形扩展为双星形，取得高容错能力，有广泛的适应性。更重要的是，这种系统结构有可能实现非标准的通讯规约，系统允许同时存在几种不同的通讯约定格式，这样，在构成系统时选用硬件有较大的灵活性。系统结构与配置见图1。

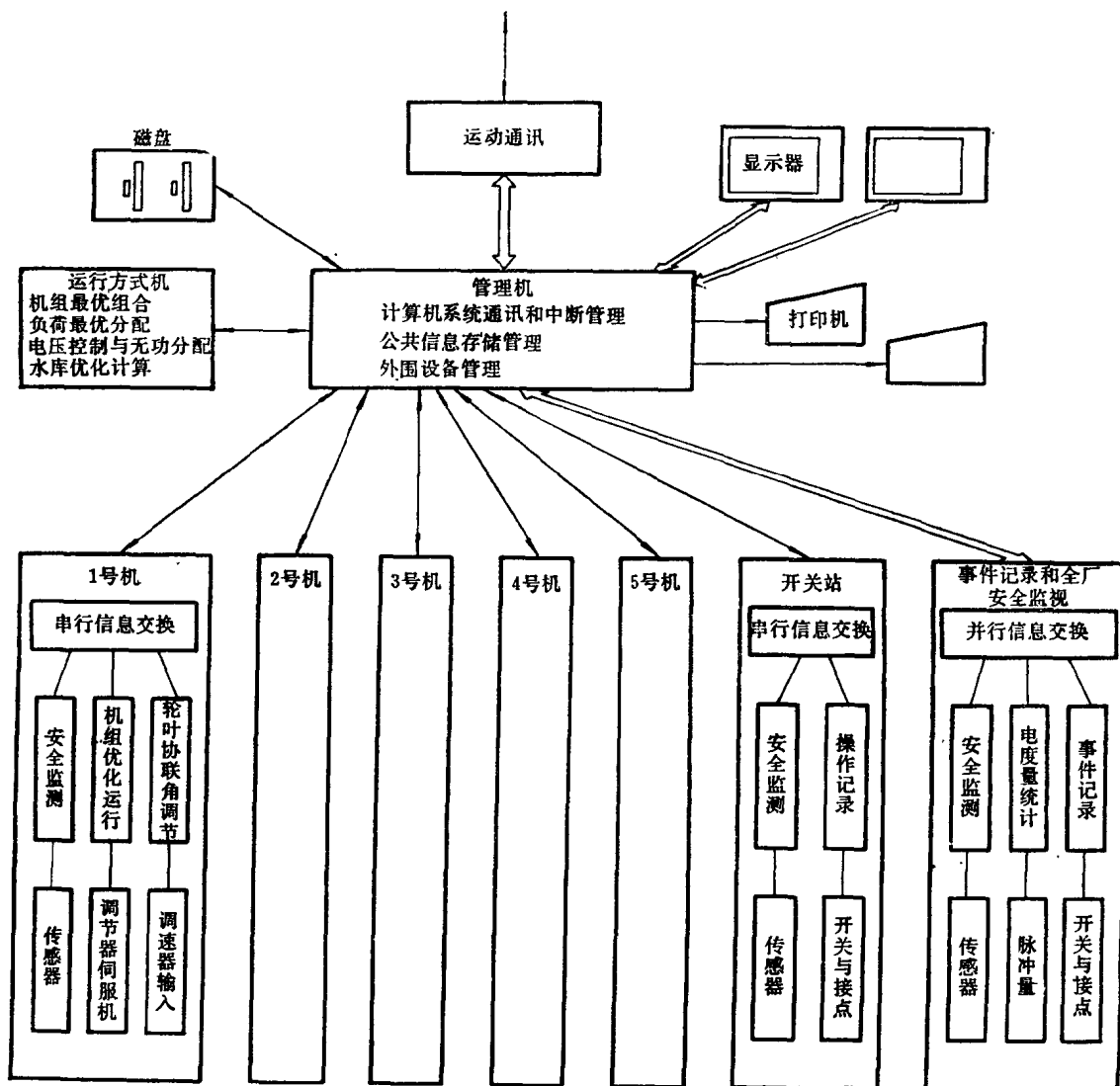


图1 富春江水电厂分布式计算机系统框图

在分布式计算机控制系统中，一个处理单元负责一台发电机组（或开关站）的数据收集、处理和控制在功能。全厂优化运行计算任务由一台运行方式计算机负责，全厂事件记录任务由事件记录装置负责，它们在系统中都是处理单元的性质。中央管理单元由一台配备

总实时操作系统的微型计算机构成,它负责各处理单元的通讯管理、系统任务调度管理和系统资源管理,称为管理机。一期工程配置以下硬件装置。

1. 安全监测与事件记录装置

采用 8080ACPU,可重写存储器16k,随机存储器4k,具有 8 级硬件优先权中断等级。

64路差分输入模拟量,12位二进制位模/数转换。

256路开关量输入,全部有中断申请能力,可扩展256路。

32路脉冲量输入,采用大规模集成电路器件实现。

2. 运行方式计算机

具有64k字节内存,双软盘驱动器具有500k 字节存储容量。系统软件配备磁盘操作系统和高级语言编译程序。

3. 管理机

配置32k 字节可重写存储器,12k字节随机存储器,其中4k 字节具有备用电池电源。并行接口 6 路,串行接口 3 路。具有 8 级硬件优先权中断等级。

4. 输入输出设备

20英寸彩色显示器和键盘 2 组,132列针式打印机 2 台,均为 1 台工作 1 台备用方式工作。运行方式计算机软盘在必要时,也可作为输入手段。

5. 调试设备

黑白显示器和键盘 1 套,20英寸彩色显示器 1 台,作为调试专用设备。

6. 不间断供电电源 1 套

保证计算机系统不间断供电。

(三) 分布计算机系统结构特征

1. 分级的硬件中断管理方式

进入各处理单元的实时任务,如开关量变位处理、模拟量收集等,以其本身的优先等级申请处理单元服务,本处理单元不能单独处理的任务,则由处理单元转送至管理机,以在其管理机处 8 级中断等级中的优先级申请系统给予服务。分级的硬件中断管理,对系统的多任务执行给予合理安排,充分发挥了分布处理的优越性。

2. 分布数据管理

系统采用分布的数据管理,数据的收集与处理靠近被监控设备,数据更新时不需占用系统资源,可以有较高的更新频率,数据的实时性好。大量信息分散存储于各处理单元,需要中央管理单元处理的数据,才定时或随机向中央管理单元传送。通讯网的信息传送保持低水平,而且在需要传送信息时,线路全部带宽可以为瞬间响应所使用。中央管理单元仅管理系统公用数据,提高了中央管理单元CPU的工作效率。

3. 通信方式

各处理单元与中央管理单元之间全部为异步通信,包括串行和并行两种方式。串行通信采用可编程异步收发接口和双绞屏蔽线实现,波特率为2400位/秒。在此传送率下,各处理单元定时向中央管理单元发送的信息,可在0.5秒发送完毕,可以满足 2 秒更新一次

数据的要求。并行通讯采用可编程的并行通信接口和扁平电缆实现,其传送速度可满足本系统的需要,在8~16位设备间最大批量信息传送中,计算机无等待期。

通信系统中采用多种通信约定格式,以适应不同机型的8位与16位设备之间通信,和不同机器上的高级语言程序和汇编语言程序之间的通信。本系统完成了试验性的运行,它的成功,证明了星形系统在通讯结构上能适应多样化硬件的需要。

4. 总线结构

系统采用多总线结构,允许系统在多主方式下工作。作为中央管理单元的管理机可以在几种方式下工作:本机总线单处理机,本机总线双处理机,本机总线与系统总线组成多总线多处理机,以及双管理机为核心组成双星形系统。可以取得不同的容错能力,使系统结构有较广泛的适应性。

5. 多任务的并行与串行执行

进入分布系统的实时任务,在多处理机上并行执行与串行执行完成,加快了处理速度,提高了系统吞吐量,使系统有较强的功能。

四、软件结构与特点

分布式计算机控制系统的软件,由系统总的实时多任务管理程序(操作系统)、各处理单元的实时多任务管理程序、软件包和应用程序等组成。一期工程管理机全部程序固化在可重写只读存储器中。运行方式机具有磁盘操作系统,其软件包内容包括:文本编辑、汇编、链接、调试程序,FORTRAN、PASCAL编译程序和BASIC解释程序,便于采用高级语言执行较复杂的计算任务。其磁盘操作系统和应用程序均常驻内存,以提高响应速度,并减少磁盘操作。事件记录装置软件,包括开关量处理、模拟量处理、脉冲量处理、各种定时任务、自检及调试等分程序模块,全部固化在可重写只读存储器中。

分布式计算机控制系统软件结构的主要特点是:各重要软件功能的分布化和软件功能在多中断级系统中以申请服务的方式执行。

1. 模块化结构

在一个处理单元中,若干子程序模块链接成一个分程序模块,若干分程序模块组成总的程序。一个分程序模块对应一类实时任务,由硬件或中断申请决定其入口地址。子程序模块对应单项实时任务,由数据流决定其入口地址。模块化结构使程序的编制、调试、多任务管理程序的构成和实时任务的执行,具有较大的灵活性。

2. 操作系统分布化

系统有总的实时多任务管理程序,各处理单元有本身的实时多任务管理程序,这意味着操作系统在一定程度上的分布化。在一个处理单元内部可以独立完成的任务,不占用包括总操作系统在内的系统资源。只是那些由一个处理单元无法完成的任务,才要求通过总操作系统的执行来完成。此种结构具有响应快、处理速度快和系统容错能力较高的优点。

3. 分布的自诊断和离线调试功能

各处理单元分别执行本单元的自诊断程序,有利于快速诊断计算机系统故障,又不影

响系统实时任务的执行。各处理单元均具有本单元的离线调试程序，一个处理单元执行离线调试程序，其它处理单元可以保持在线运行，这种调试程序结构提高了系统容错能力。

4. 通讯翻译程序

不同机型和不同语言的两个程序之间，通过通讯翻译程序实现正常的通讯。翻译程序链接在通讯程序入口，成为通讯程序块的组成部分。本系统的通讯翻译程序具有专用性质，但其结构有较广泛的适应性，便于系统硬件的灵活选择。

5. 在线调试能力

在管理机操作系统中，提供简单的在线调试手段，在系统全部实时功能执行的同时，可以通过专用显示终端，执行简单的调试命令，以诊断系统出现某些不正常现象的原因，这也提高了系统的容错能力。

五、分布计算机控制系统的模型分析

(一) 分布式计算机控制系统的控制流

在设计计算机系统结构、确定系统的任务调度管理和通讯管理时，需要从控制流和数据流两个方面进行分析。在分布式计算机控制系统中，对控制流的详尽观察和分析更为重要。在实时控制系统中，不允许出现“死锁”。考虑到经济和实用，一部分系统资源不能按照可能同时进入系统的最多个任务的最大资源需要进行配置，因而有可能出现资源争夺和“死锁”，这必须在硬件和软件上采取措施予以解决。这就需要详尽研究可能同时进入系统的多任务流如何通过整个系统；一个任务如何在多处理机上并行和串行执行；多任务流如何使用局部资源独立工作和使用系统公共资源交互工作。即需要正确解决多任务与系统资源的动态匹配问题。对上述问题进行全面研究后，才能正确地决定系统资源的配置和各中断级的任务调度管理。

在计算机系统控制流的分析工作中，Petri网得到了较广泛的应用。已有的Petri网未能解决多于2个中断优先级的系统模拟问题。通过对模拟优先权的“零测试”条件语义加以扩展，以扩展的Petri网构造了多优先权中断等级分布系统的有向图模型，成功地模拟了富春江水电厂分布式计算机控制系统。利用有向图模型，可以全面深入地分析系统的工作状况。

(二) 分布式计算机控制系统的模型

计算机控制系统的有向图模型，是在Petri网的基础上，增加扩展语义构造的，它具有安全网和非守恒网的基本性质，标记网具有有限可达集。模型的构造另有专文给出全部语义和解释，此处给出有向图模型的简要定义。

有向图模型 $A = (P, T, Z, R, C)$

$P = \{P_{i1}, \dots, P_{ki} \mid i = 1, \dots, n_1\}$	有限非空位置集合
$T = \{T_{1j}, \dots, T_{kj} \mid j = 1, \dots, n_2\}$	转移结点集合
$Z = \{Z_i \mid i = 1, \dots, k\}$	零测试位置集合
$R = \{r_l \mid l = 1, \dots, m\}$	判定位置集合

$C = \{P, T\} \cup \{T, P\} \cup \{R, T\} \cup \{T, Z\} \cup \{Z, T\}$ 输入输出弧集合

1. 位置

P_i —在第K级优先权任务流途径中第i个位置。

采用标志函数 $\mu: P \rightarrow N$, 从位置P到自然数集合N的映射。在本模型中

$$\mu(P_{ki}) = \begin{cases} 1 & P_{ki} \text{ 中有标志} \\ 0 & P_{ki} \text{ 中无标志} \end{cases}$$

2. 转移

T_{ki} —在第K级优先权任务流途径中第i个转移。

定义 $F(T_{ki}) = \{Z_1, \dots, Z_{k-1}, P_i, R, P_o\}$ 为 T_{ki} 相关联的全部位置子集。其中Z为零测试位置; P_i 为输入位置; P_o 为输出位置; R为判定位置。

$\mu[F(T_{ki})] = \{\mu(Z_1), \dots, \mu(Z_{k-1}), \mu(P_i), \mu(R), \mu(P_o)\}$ 为 T_{ki} 关联标志分布向量。

采用偏函数 δ 定义点燃一个转移引起的状态改变, 称为转移函数; 则 $\delta\{\mu^0[F(T_{ki})]\} = \mu^1[F(T_{ki})]$

上式中 $\mu^0[F(T_{ki})]$ 和 $\mu^1[F(T_{ki})]$ 分别为转移点燃前后 T_{ki} 的关联标志分布向量。

在多优先权中断级系统模型中, 其它有关转移发生点燃造成本转移关联标志分布向量的改变, 由相关转移函数表征为

$$\delta_{kf}\{\mu[F(T_{ki})]\}$$

3. 判定

判定位置 $R = \{r_l \mid l=1, \dots, m\}$

判定函数为

$$\mu(r_l) = N$$

式中N为非负整数, 其值由数据流决定。

多输出位置的转移结点发生点燃时, 输入位置中的标志按判定函数值, 进入所判定的输出位置中, 见图2。

4. 零测试

零测试位置中有标志, 则转移不能点燃。见图3。只有当零测试位置中的标志消失, 转移的点燃才会发生。

对于具有n级优先权中断等级的系统, 第n级优先级任务流途径中的转移, 可以有n-1个零测试位置, 参见图4。

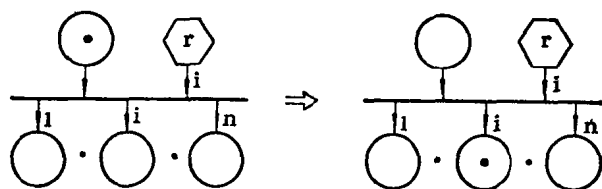


图2 判定函数值决定转移点燃后标志分布

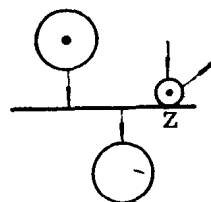


图3 零测试位置Z中有标志, 转移不能点燃

$$\mu(Z_i) = \begin{cases} 1 & Z_i \text{ 中有标志, 即第 } i \text{ 级有中断任务} \\ 0 & Z_i \text{ 中无标志, 即第 } i \text{ 级无中断任务} \end{cases}$$

零测试位置中标志的移动, 由此位置输出边所关联的转移结点是否发生点燃所决定。

一旦该相关结点发生点燃, 则零测试位置中的标志消失, 参见图 5。

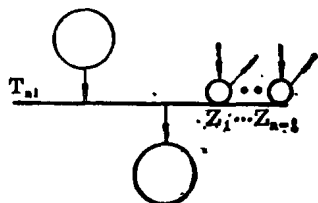


图 4 第 n 级优先权任务流途径中第 i 转移零测试位置

Z_i 位置中标志消失, 对应实际系统中第 i 级中断任务完成。

根据上述定义构造了富春江水电厂分布式计算机控制系统一期工程模型, 参见图 6。

图中不包括可以在一个处理单元内完成执行的任务流的模拟。

(三) 系统的模型分析和资源争夺与“死锁”的防止措施

系统公用资源全部为串行可重用资源, 资源种类及每种资源个数为已知确定值。按照可能同时进入系统的最大任务数和每个任务可能同时使用的最大资源数, 进行系统资源和任务的匹配。在模型上, 代表可能同时进入系统诸任务的标志依次进入相应位置中, 通过各转移有条件的有序点燃, 可得到标记网的有限可达集, 此可达集表示系统的多任务流与系统资源匹配的全部过程, 它可以指出可能出现的资源争夺和“死锁”状态。

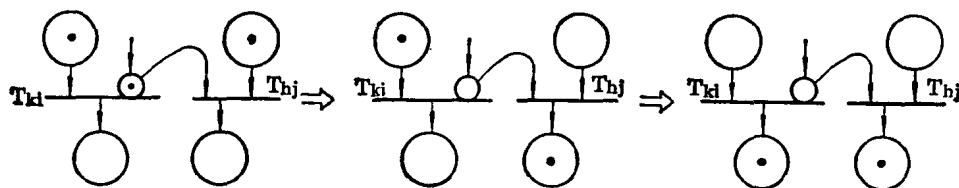


图 5 相关转移发生点燃, 引起零测试位置中标志变化

分析结果表明, 本系统中的资源争夺现象是存在的, 在公用数据缓冲存储区和显示、打印缓冲存储区都存在资源争夺问题。必须采取措施, 防止因资源争夺导致某些实时任务不能执行。

防止资源争夺和“死锁”的简单方法是适当增设一些资源, 但这将增加系统造价。在不增加系统资源条件下, 避免资源争夺的主要方法是等待。采取不影响系统实时响应性能的等待是合理的。在本系统中, 针对任务与资源的不同特点, 采取以下 3 类措施。

1. 按任务优先级登记服务

高优先级任务申请资源时, 可以强占资源, 被中断的低优先级任务登记等待服务。它与中断断点返回不同的是, 它不保留断点, 而是登记待服务任务, 且此任务的执行开始时间由运行人员决定。

2. 资源代用

系统中有已登记的任务等待使用显示缓冲存储区时, 该登记的任务可立即由系统打印资源予以服务。这样, 提高了系统实时响应性。

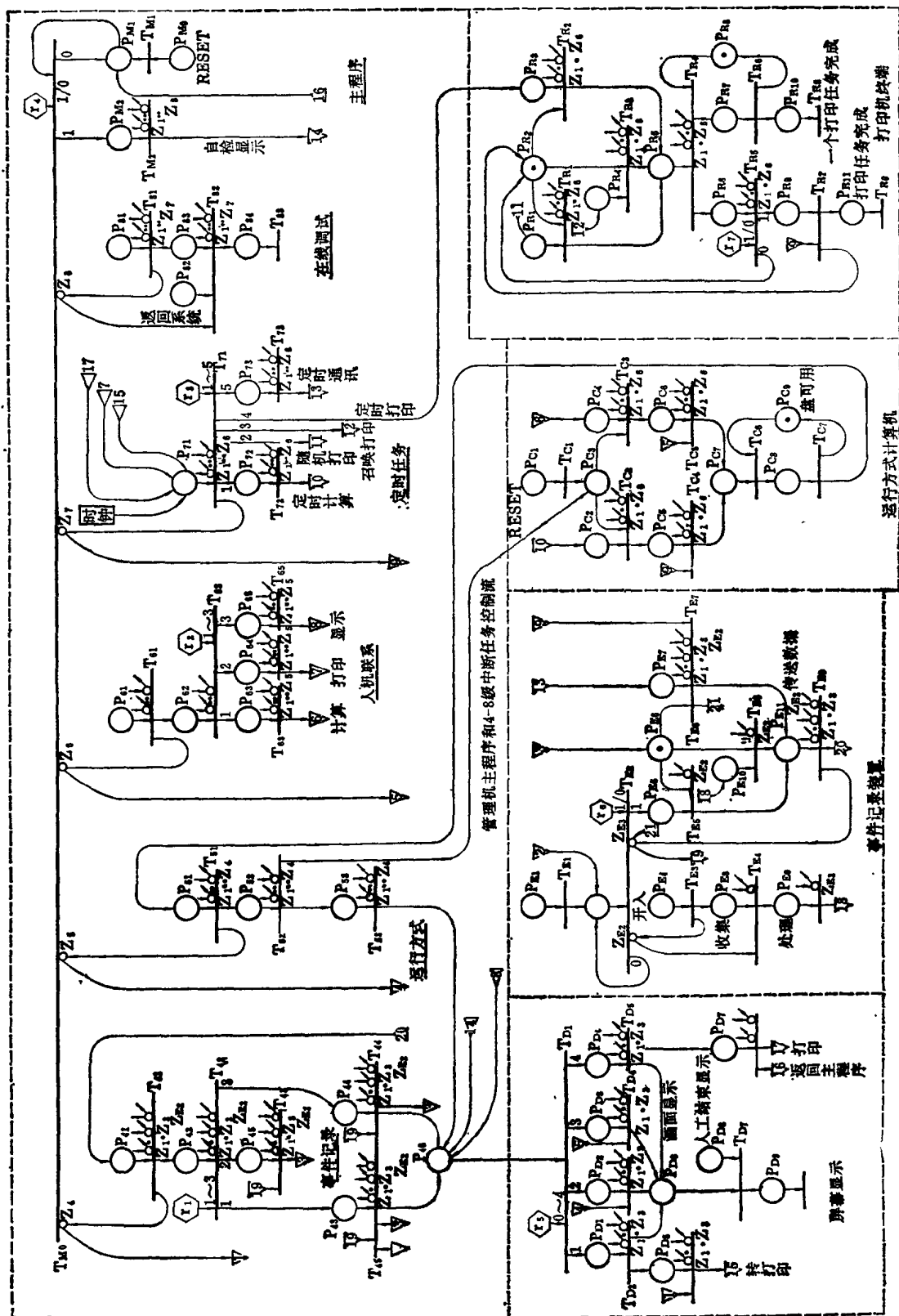


图 6 富春江水电厂分布计算机系统有向图模型

3. 按到达顺序先到先服务

对于服务时间确定, 且插入固定等待时间不影响实时性的任务, 采用此方式处理。

采取适当措施后, 系统不增加资源配备, 可以避免资源争夺和“死锁”的出现, 并满足系统的实时性要求。

结 束 语

分布式计算机控制系统, 是计算机控制系统中极有发展前途的一种系统结构, 适合于在水电厂中实现多功能分级控制。研制实践表明, 星形系统的结构与元件较简单, 系统的通信结构对硬件适应能力强, 系统易扩展, 可以得到高容错能力, 且造价较低, 是一种适于大中型水电厂采用的系统结构。

富春江水电厂装设计算机监控系统, 可以提高电厂安全运行水平, 改善运行监控条件, 提高调度灵活性, 获得显著经济效益。应用计算机提高电厂经济和安全运行水平, 是对已运行水电厂进行技术改造, 实现企业现代化, 提高企业经济效益的重要措施。

参 考 文 献

- [1] William E. Miller, William J. Danco and John C. Price, Application of Distributed Computer Control System to Modernization of Metal Rolling Mills. 3rd IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems. Beijing China, 1981.
- [2] J. Actab, V. Frammery, C. Gareyte, P. Van der Stok, Essential Features of the Cern SPS Distributed Control System 3rd IFAC Workshop on Distributed Computer Control Systems. Beijing China, 1981.
- [3] F. Halsall, A Microprocessor-Controlled Multi-Minicomputer System. Second Euromicro Symposium on Microprocessing and Microprogramming. 1976.
- [4] R. E. Miller, A Comparison of Some Theoretical Models of Parallel Computation. IEEE Trans. on Computers, Vol. c-22. No. 8 Aug. 1973.
- [5] Jerre D. Noe, Gray J. Nutt, Macro E-Nets for Representation of Parallel Systems. IEEE Trans. on Computers, Vol. c-22. No. 8 Aug. 1973.
- [6] S. Y. Foo, G. Musgrave, Comparison of Graph Models for Parallel Computation and Their Extension. 1975 International Symposium on Computer Hardware Description Languages and Their Applications. Proceedings.

Distributed Computer Control System for Fuchunjiang River Hydroelectric Power Plant

Wang Jinsheng

Abstract

This paper concerns with a distributed computer control system developed by the Department of Automation Research of the Institute of Waterconservancy and Hydroelectric power Research for Fu Chun Jiang River Hydroelectric power plant. The purpose of the system is to improve the performance of the plant. The optimal generation control, one of the main functions of the system, makes the plant increase about 1.5-6.0% of the total kilowatt hours at different plant load schedule. The main features of the system architecture as well as those of the software architecture are here discussed. The dynamic matching between multi-tasks and system resources are investigated on a directed graph model, which is developed by giving semonic extension to Petri-Nets. The methods adopted to avoid system resource contention and deadlocks are introduced. The above implies that the application of computer science is evidently an effective measure to help implement the modernization of industry, thus facilitating the increase of economical efficiency as well.