

大型计算机监控系统

史忠科 张贵义 金忠臣 编著
刘 强 朱荣明

科学出版社

大型计算机监控系统

史忠科 张贵义 金忠臣 编著
刘 强 朱荣明



科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书以气田监控系统及楼宇监控系统的方案论证为例,详细介绍了大型计算机监控系统的选型及设计原则和方法。全书共分三部分。第一部分对大型计算机监控系统作了一般介绍,第二部分介绍了气田监控系统的方案及设计原则,第三部分介绍了楼宇监控的设计原则及方案。

本书可供从事自动控制、计算机、系统工程的研究人员以及从事自动化技术应用等方面的技术人员使用,也可供工程项目组织者、决策者参考。

大型计算机监控系统

张贵义 金忠臣
史忠科 刘 强 朱荣明 编著

责任编辑 李淑兰

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

香河县第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1995年12月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1995年12月第一次印刷 印张:11 1/2

印数:1—1000 字数:259 000

ISBN 7-03-004600-5/TP·421

定价:19.30 元

前 言

随着科学技术和生产的不断发展,国民经济各行业面临的控制问题更加大型化和复杂化,对大型计算机监控系统的需求也越来越迫切。目前,我国已经在石油、化工、航空航天等工业的生产部门建成了许多大型计算机监控系统。然而,我国自行设计和研制的大型计算机监控系统仍然很少,主要靠从国外引进。在引进的系统中,部分尚不能正常工作。如何对系统进行总体设计,引进时如何对系统选型,怎样估计价格性能比,按什么指标验收引进或研制的控制系统等问题,在大多数单位仍未解决。特别是大型工程的管理和决策者没有系统的参考原则和依据,决策往往具有盲目性。据作者了解,这种情况已给国家造成了很大的经济损失。另一方面,对近 15 年资料的计算机检索表明,专门论证大型计算机控制系统的书籍和文献很少。鉴于上述原因,作者根据对飞行数据监控系统软件、硬件设计的工作实践,并结合油气田和楼宇监控自动系统两个实例,就大型计算机系统的设计、评价、验收原则和标准给予一般性的论证,以起到抛砖引玉的作用。

本书共分三部分,十二章。第一部分对大系统控制问题作了一般性的介绍,包括大系统理论的基本内容,大系统控制的基本要求及实现方法。第二部分根据气田的情况和要求,对大型天然气田 SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition)系统作了较为详细的论证,内容包括:总体方案的选择,各级生产管理部门结构设置、任务分配及控制的实现途径,系统可靠性、安全性和可维修性的分析与设计,系统硬件设备与软件的配置等。第三部分结合某商业集团实际情况,对现代化楼宇自动化监控、管理系统给予了一般性论证。

本书第一部分由刘强、史忠科执笔。第二部分实际工作由全体作者共同完成,史忠科等人执笔。第三部分由史忠科等人执笔。

王蓓、范洪涛同志在楼宇自动化监控系统材料整理中做了一定的工作,王宇伟、王晋霞、吴涛、康伟同志在资料检索和整理中也做了部分工作,在此一併感谢。

由于对大型监控系统的了解有限,以及作者水平、时间等诸多因素的限制,书中难免存在这样那样的问题,敬请读者批评指正。

编著者

1994 年 9 月

目 录

前言

第一部分 大型计算机控制系统概述

第一章 大系统理论的基本内容	(3)
1.1 系统的概念	(3)
1.2 大系统的概念与特点	(4)
1.3 大系统研究的难点及解决方法	(5)
第二章 大系统控制的实现方法	(14)
2.1 大系统递阶控制	(14)
2.2 大系统分散控制	(16)
2.3 分布式计算机系统	(17)
2.4 大系统控制对计算机及软件系统的要求	(22)
2.5 大型计算机控制系统人-机界面的要求	(23)

第二部分 大型天然气田监控系统

第三章 自动控制系统原理及框图	(28)
3.1 气田基本情况及控制系统	(28)
3.2 系统的特点	(29)
3.3 气田系统的三种基本描述	(29)
3.4 用递阶方法进行气田控制的优点	(30)
3.5 国外油气监控系统简介	(31)
3.6 总体方案选择	(33)
3.7 各控制级的系统构成总原则	(36)
第四章 集气站的控制问题	(37)
4.1 集气站的测量与控制任务	(37)
4.2 数据采集与处理	(37)
4.3 信息测量及执行机构	(39)
4.4 控制方案	(40)
4.5 目标可达性	(44)
第五章 枢纽站控制问题	(45)
5.1 清管及跟踪、显示	(45)
5.2 管道检测与智能清管技术	(45)
5.3 方案选择	(46)
第六章 集气总站控制问题	(48)
6.1 集气总站的功能及任务	(48)
6.2 协调、监督控制及管理决策	(48)

6.3	决策方法	(49)
6.4	集输气运行分析及在线仿真	(50)
6.5	故障诊断	(50)
第七章	生产调度管理中心	(53)
7.1	调度管理中心的任务	(53)
7.2	管理与决策	(53)
7.3	全气田运行分析与状态监视	(57)
7.4	库文件的建立和报表生成	(58)
7.5	数据传输方案	(59)
7.6	优化及其他功能	(60)
第八章	控制系统的可靠性和安全性	(61)
8.1	控制系统的可靠性	(61)
8.2	计算机系统的可靠性设计	(67)
8.3	冗余系统的可靠性	(81)
8.4	人-机系统的可靠性	(86)
8.5	全系统的可靠性分析及分配问题	(92)
第九章	控制系统的可维修性	(95)
9.1	系统的可维修性及可用度	(95)
9.2	控制系统的可维修性及可用度分析	(97)
9.3	人员操作和维护可行性	(100)
第十章	控制系统的硬件选型原则	(103)
10.1	计算机选型标准	(103)
10.2	监测计算机系统的选型	(108)
10.3	控制系统部件选型	(109)
10.4	多级计算机系统的组成原则	(110)
10.5	局部网络及性能分析	(119)
10.6	显示设备的选择	(140)
第十一章	数据通信及巡视	(142)
11.1	数据通信系统	(142)
11.2	差错校验问题	(147)
11.3	通信的传输介质	(148)
11.4	通信方案的选择	(150)
11.5	巡视方案	(151)

第三部分 楼宇监控系统

第十二章	楼宇监控系统	(154)
12.1	系统的选型依据	(154)
12.2	分布式系统的构成	(159)
12.3	系统软件及各子系统软件功能	(172)
参考文献		(177)

第一部分 大型计算机控制系统概述

随着科学技术的发展,生产和管理的系统越来越复杂.对这种复杂大系统的控制和管理存在着大量有待解决的难题.为研究这些复杂对象的控制方法,在社会与工程实际应用的推动下,本世纪 60 年代产生了大系统理论.在以后的数十年中,各种实际应用方法不断出现.与此同时,标志着 20 世纪科技发展水平的计算机技术得到了飞速发展,使得控制这些规模庞大、结构复杂的对象有了强有力的支持工具.控制理论从古典控制理论到现代控制理论,以及当今控制界出现的众多分支领域,无不显示出科学技术从低级到高级、从简单到复杂的发展趋势.如果说现在的大系统理论发展水平远未达到构成新一代控制理论的话,那么科技向复杂化、纵深化发展的趋势必将使得未来的大系统理论仍能代表控制理论的发展方向.目前大型计算机控制系统的设计,便是将人类创造的、与人脑功能有极大可比性的大型高效工具.在大系统理论的指导下,针对大型控制对象,寻找可实现的、最优的控制办法和控制成果.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX TILDEN FOUNDATION
1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

1215 6TH AVENUE
NEW YORK 17, N.Y.

第一章 大系统理论的基本内容

大系统理论以大规模系统为研究对象,用系统的方法寻找最优方案.

1.1 系统的概念

“系统”的概念,应当说自古就已经存在,并早已被人们用各种朴素的语言表达出来.古希腊哲学家提出的“宇宙大系统”观点,提出了世界是多层次的.亚里士多德提出的关于事物种属关系的思想,指出事物的整体性、目的性、组织性的观念.中国春秋末期的老子更是阐明了自然的统一性,这些都可以说是古代朴素的系统观念.真正使人们对系统有了科学的认识还是近世纪的事情.尤其是19世纪上半叶,自然科学的能量转化、细胞学说和进化论三大发现,使人类对自然的相互联系的认识更加深入.马克思、恩格斯则在此基础上对“系统”的哲学概念作出了精彩的论述.科学技术在近一个世纪以来的火山爆发似的发展,极大地促进了系统方法的研究,工程实践规模的日益扩大,使得以往的系统定性研究不再满足人们的需要.计算机的出现,使这种具有数学分析、能够定量处理系统各组元关系和定性分析系统品质的科学方法得以实现.在控制论中这种定量与定性分析的方法尤其得到了研究和发展.

“系统”是具有特定功能的、相互间具有有机联系的众多要素的整体.关于系统的各种定义很多,美国的Ackoff认为:“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素构成的集合”.一般系统论的创始人Bertalanffy认为:“系统是相互作用的诸要素的综合体”.还有的学者则将系统定义为“若干组分保持有机的秩序,向同一目的行动”.由此可见,尽管系统有多种概念表达,但总是离不开要素、结构、功能、环境这几个要点.系统是由若干要素组成的集合,处在一定的复杂环境当中.结构可分但功能统一.系统是一个集合,具有一定的特性,表现出一定的行为,这些特性或行为只能是集合整体才能实现,任何部分都无法做到这一点.

因此,一般的系统便具有以下特性:

(1) 统一性

系统是由若干相互区别的要素按照系统整体的统一性构成.系统的各要素以一定的结构组成集合,完成特定的功能,而各要素自身的性能则可能与整体功能出入较大.系统的组分规模较大,但由于其结构的可分性,使得系统具有一定的层次性,系统通过分解与协调来提高运作效果,使之成为完善的功能集合体.

(2) 关联性

系统各组分之间存在作用与被作用的关系,这种关系是有机存在的.要素组分之间的相互依赖关系在功能一定时则是特定的.以大型计算机控制系统为例,回路级的下位机与管理组织学习级的上位机,只有通过一定的结构联结,各组成部件软硬件有机结合,才可能实现各种监测与控制功能.

(3) 功能性

系统以实现功能为目标;功能是确定系统好坏的最主要的指标.

(4) 适应性

系统存在于外部环境中,系统要改变外界的环境,但外部环境对系统各要素的影响又是不可忽略的,这就要求系统具有较强的适应能力.孤立的系统是不存在的,物质能量的交换必然要发生在系统与外部环境之间,适应性不强的系统其功能必将要受环境改变的影响,从而失去其有效性能.

用定量化的系统思想来解决复杂系统的问题,是目前人类思想发展水平的一大体现,对系统的设计和建立、系统的控制和管理,在科技体系中称为系统工程,它属于工程技术范畴.系统分析是人们为了从系统的概念上认识客观对象,它与系统工程一词被大多专家作等同的理解,指的都是人们将要素与功能的关系进行详细剖析,在完备的信息分析中,选择最优化的决策.复杂大型系统往往不再是纯粹的技术问题,它还受到社会、经济等因素的影响和制约,系统的设计加入了人为的理性判断.系统工程因而成为自然科学与社会科学之间的一座桥梁,它以大系统为研究对象,是一门边缘学科.目前系统工程广泛应用于社会问题和工程技术问题,针对其侧重点不同,系统工程又在不断出现分支.下文即将涉及的大系统理论与这里所述的系统工程,并不是截然不同的两个概念,在许多问题上,不妨可以将它们作同样的理解.

1.2 大系统的概念与特点

大系统理论在 60 年代末提出,经过几十年的发展,其成果广泛应用在工程实际当中.但即使到现在,对于什么是大系统,仍没有一个明确的规定,事实上也不可能或没必要有这样一个统一的定义模式.大规模系统,或者称大系统,从字面上理解,通常被误解为系统所涉及的事物在尺度上的规模巨大.例如大型油田开发;其涉及的面就非常广,包括油田所占的地理面积、涉及的人员数量、工程设备、工作量、投入资金等.如果仅从这些内容来理解,这项工程当然已算得上大系统了.又例如,一个水箱,涉及冷水与热水的流入、混合,温度控制、水的流出.对于这个系统,要是再用前面油田系统的标准来看,无论如何都不能称为大系统.因此,有一个问题就出现了:究竟系统的规模要大到什么程度才能够得上大系统的标准,或者说系统大到什么程度才能算作大系统呢?

Mitter 在 70 年代中期给出了一个定义:“为了便于计算或实际应用,若能将系统分解或分块成多个互联的子系统,该系统即为大系统.” Mahmoud 则认为:“当系统的维数大到用常规的建模、分析、控制和计算方法不能以合理的计算量来求解时,系统就被认为是大的”.由于大系统理论研究与应用的广泛性,学者们阐述的观点均来自各自不同的理解角度,涉及社会系统、经济系统、环境问题、生化问题等诸多方面,因而就不可能用一个统一的语句来完成这个概念.但有一点是非常明确的,大系统的“大”指的是系统的高维数、强关联、多目标、不确定、分散性等,就这一点,研究人员已达到共识.

本书第二部分与第三部分分别涉及的大型天然气田及楼宇监控系统,都是具备上述一系列特性的大规模系统.以气田自动化系统为例,我们可以总结出大系统的一些基本特点:

第一,大系统具有较强的巨量信息获取、存储与处理的能力.气田建设应当考虑的有关信息和需要处理的内容非常繁杂,涉及气井采气、天然气集输、气田生产调度,各部门运行状态监测,运行状况分析,通讯联络等等.信息的来源与种类差异悬殊,现场有关的各传感器测量信息与生产管理的图文报表交错传送,致使系统对数据采集、存储、分类、处理、传送的功能要求较为严格.在大型计算机控制系统中,一般都考虑了用现有的网络技术来实现,主要是计算机网络与有线、无线通信系统.

第二,大系统的整体结构是多级的.气田自动化系统就是由各级性质、功能相差较大的子系统组成.例如气田最基本的一级是采气井,管理和控制这些采气井的系统则属于高一层次的集气站,之后是枢纽站、集气总站、生产管理调度中心等.这种多层多级的结构形式,使得管理与控制有了一定的秩序,但也没有必要把任何控制决策任务都集中到一个控制中心.例如气田上的集气总站就可以多建成几个,分担不同的工作或不同区域的工作.目前常用的构建方式是:当前级单位受其紧邻的上一级单位管理,管理级只负责隶属自身的各部门的生产过程.管理级是直接的生产管理控制级,它的上一级则是任务协调级,主要完成协调各直接管理控制级的功能.最高级制定总任务、总目标.由此可以看出,一个系统内部能发出命令控制其它单位的所谓控制中心不只一个,使得控制作用得以分散.这种工作方式带来了总体与局部的矛盾,但也是有效的解决大系统控制的途径,在目前的计算机控制系统中,该方法是相当普及的.

第三,大系统辨识、建模、控制、反馈的复杂性.目前工程上的许多实际系统,除了自身物理性质的复杂外,还穿插了大量人的因素,古典的一些数学工具及控制理论均难以在知识表述上与之接轨,使得本已较为困难的对自然物的控制增添了人为的困难.一个系统在加入了社会、经济、人员的约束之后,对其描述就必须突破古典的方法,引入新的知识描述工具,使得大系统内部各组元在知识表述的粒度与时间尺度上更加协调.

1.3 大系统研究的难点及解决方法

大系统在信息处理,模型结构,控制管理方面表现出的特性,使得人们在设计自动化方案和具体实现中遇到了一系列的问题.尽管目前计算机技术发展迅猛,但仍不能解决大系统在复杂度上无限扩张的趋势.目前大系统研究的难点有:

- (1)建立数学模型的复杂性.例如存在高度非线性与不确定性、动态突变性、多时间标度等.
- (2)强关联引起的系统复杂性等.
- (3)高维数引起的“维数灾难”,受到计算机存储容量的限制等.
- (4)系统庞大所引起的信息获取的困难性、模糊性、不可靠性和不完全性,以及复杂的信息模式和庞大的数据量.
- (5)性能衡量准则、评价标准的主观性、多样性、非定量性.

大系统理论产生以来,专家学者从各个角度提出了一系列相对有效或者说有一定实用性的方法,来克服以上难点.主要的方法有结构建模与估计,分解协调,简化与次优,以及多目标方法.在这些方法当中,最主要的思想是分解-协调.

1.3.1 建模

各种各样的物理系统要进行分析 and 优化设计,总是从建立一个数学模型开始.对于物理性质明确的所谓“白色”系统,可以从该系统各个部件的工作机理出发,列写出各变量之间相应的数学表达式.如果系统内部结构不明确,常规的方法是根据其输入量与输出量进行系统辨识,用一些现成的数学方程来描述.对于一个物理系统,其具体构成和工作机理一旦清楚,则可以用常微分方程、偏微分方程、状态方程等明确地列写出各变量或状态量之间的关系式.列写这些关系式必须遵守质量守恒、能量守恒、动量平衡等规律.例如,一台电机转动的数学模型如下:

$$J \cdot \theta'' = T_a$$

其中: J ——转动体的转动惯量($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

θ ——转轴的相对机械角度(rad);

T_a ——作用于转轴的加速转矩($\text{N} \cdot \text{m}$).

写出它的线性定常系统状态方程,则有

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1/J \end{bmatrix} T_a$$

一个简单的物理系统只要机理与结构正确,抽象出的数学模型应当是确定的.一个较为普遍的关于城市道路网络红绿灯问题:

交叉路口与路段相连形成道路网.高峰时间,每一次绿灯亮时,都不能将一个路口的车队全部放完,这就是所谓的“超饱和”交通网.当以驶近交叉路口的车队长度作为状态量来研究这种网络的控制过程时,如图 1-1 所示.

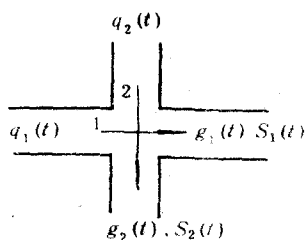


图 1-1 交叉路口交通示意图

设 $i=1$ 表示横向交通, $i=2$ 表示纵向交通, $q_i(t)$ 表示沿方向 i 到达的车流. 设一次红绿灯循环的可行周期持续时间为 C . 其中黄灯造成的时间损失为 L , 则 $C=C_1+C_2+L$, C_i 是沿方向 i 的绿灯持续时间, $i=1,2$. 当沿方向 i 获得全部绿灯时,放行周期内可以通过交叉路口的行车总数称为饱和车流 S_i . 设 $\bar{g}_i(t)$ 为平均离去车流量

(车数/ C), 控制变量 $u_i(t)$ 定义为沿方向 i 的绿灯百分比. 可得

$$u_i(t) = \bar{g}_i(t)/S_i(t) = C_i/C; \quad i=1,2$$

由于 C 为常数, 所以实际的控制变量为 $u=u_i$, 另一个控制变量是 $C-u_i-L$. 控制量 u 必须受 $u_{\min} \leq u \leq u_{\max}$ 的约束. u 过大过小均会引起混乱.

那么从一个放行周期到下一个放行周期, 瞬时车队长度变化:

$$X_i(k+1) = X_i(k) + q_i(k) - \bar{g}_i(k) = X_i(k) + q_i(k) - S_i u_i(k)$$

如图 1-2 所示, 车队长度必须满足约束:

$$0 \leq X_i(k) \leq X_{\max i}$$

其中 $X_{\max i}$ 为路段长度.

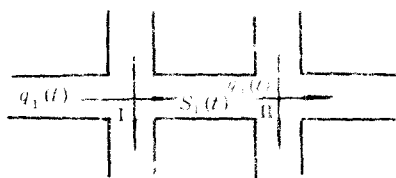


图 1-2 多交叉路口交通示意图

对于相邻的两个叉路口,忽略超车等因素干扰(拐弯车可另列一队),则从路口 I 到路口 II 可以看作是一个纯滞后的因素:

$$q_3(k) = S_1 u_1(k - m)$$

其中 u_1 是 I 交叉路口的控制量, S_1 是 I 来的横向饱和车流, m 是两个交叉路口之间的延迟单位的个数,即车辆从 I 路口到 II 路口所需时间 C 的倍数。

由此,交通网络的数学模型可以用如下差分方程来描述:

$$X(k+1) = AX(k) + B_0 u(k) + B_1 u(k-1) + \cdots + B_m u(k-m) + v$$

其中, A 是一个有几条车队网络的 $n \times n$ 单位矩阵; $X^T = (X_1, X_2, \cdots, X_n)$ 为状态变量(车队长度)向量; u 是具有交通信号的 r 个路口的 r 维向量, $B_j (j=0, 1, 2, \cdots, m)$ 是由饱和车流决定的相应矩阵, v 是来自系统外部的输入量,两个约束条件前面已提及,即

$$0 \leq X(k) \leq X_{\text{max}}$$

$$u_{\text{min}} \leq u(k) \leq u_{\text{max}}$$

1.3.2 参数估计

系统辨识或参数估计问题,目前有许多成熟与完善的方法,其基本的原理都是基于对输入量和输出量的测量,然后用一个现成的数学工具来逼近系统,估计出各参数的值。成熟的辨识方法大多以线性系统为对象,遇到非线性程度不太强的问题,通常采用线性化或级数展开形式将复杂问题转化为阶的辨识和参数估值。更简单的方法是先确定出几种阶次不同的数学模型,然后只做参数估值,最后根据仿真结果得出最优的解。下面介绍两种最常见的辨识方法:最小二乘法和极大似然法。

1. 最小二乘法

该方法的基本思想是,寻找一组参数(由其组成的模型与实验数据拟合),使其误差的平方(二乘)和最小。

假定一个线性系统,变量 y 与 n 维向量 $X = (x_1, x_2, \cdots, x_n)^T$ 之间存在关系式:

$$y = \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \cdots + \theta_n x_n$$

其中 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_n)^T$ 是一个常量集,但数值未知,需要根据 y 和 X 的观测值来估计。

假设测得 $t_1, t_2, \cdots, t_m$ 时刻的 $y(i)$ 及 $x_1(i), x_2(i), \cdots, x_n(i), i = 1, 2, \cdots, m$, 则有

$$y(i) = \theta_1 x_1(i) + \theta_2 x_2(i) + \cdots + \theta_n x_n(i); \quad i = 1, 2, \cdots, m$$

写成矩阵形式,其中

$$y = X\theta$$

$$y = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ y(m) \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_2(1) & \cdots & x_n(1) \\ x_1(2) & x_2(2) & \cdots & x_n(2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1(m) & x_2(m) & \cdots & x_n(m) \end{bmatrix}, \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix}$$

可辨识的条件之一为 $m \geq n$; 若 $m = n$, 则 θ 估计值唯一:

$$\hat{\theta} = X^{-1}y \quad (X \text{ 满秩})$$

对于实际系统由于存在测量噪声和模型误差, 一般用 $m > n$ 求取误差的平方和最小的办法确定 $\hat{\theta}$:

定义误差向量 $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m)^T$, 令

$$\varepsilon = y - X\theta$$

定义指标函数

$$\min J = \sum_{i=1}^m \varepsilon_i^2 = \varepsilon^T \varepsilon$$

将 $\varepsilon = y - X\theta$ 代入上式, 得

$$\begin{aligned} \min J &= (y - X\theta)^T (y - X\theta) \\ &= y^T y - \theta^T X^T y - y^T X \theta + \theta^T X^T X \theta \end{aligned}$$

根据

$$\left. \frac{\partial J}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}} = -2X^T y + 2X^T X \hat{\theta} = 0$$

有 $X^T X \hat{\theta} = X^T y$, 从而

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T y$$

这就是 θ 的最小二乘估计 (LSE). 为了取得更加有效的结果, 最小二乘方法已得到了不断地改进, 出现了加权 LSE、递推 LSE、广义 LSE、多步 LSE 等多种 LSE 方法.

2. 极大似然法

极大似然法的思想是: 设一组量测值 $(z_1, z_2, \dots, z_n)$ 取决于某一参数 θ ; 将 z_i 看作是独立的量来估计 θ ; 定义一个似然函数, 然后相对于 θ 取极大值. 通常 z 是一个离散的零均值各态遍历的随机过程, 其概率密度为 $P(z, \theta)$, 则似然函数 L 可定义为 z_i 的联合概率密度函数:

$$L(z_1, z_2, \dots, z_n; \theta) = \prod_{i=1}^n P(z_i; \theta)$$

因为 $\log L$ 是单调函数, 当 $L \rightarrow \max$, $\log L$ 亦 $\rightarrow \max$, 相对于 θ 使 L 取极大值, 等价于方程:

$$\left. \frac{\partial \log L}{\partial \theta} \right|_{\theta=\hat{\theta}} = 0$$

求解这个似然方程可以得到 $\hat{\theta}$, 称为 θ 的极大似然估计. 在实际应用中, 似然方法相对最小二乘法难度要大一些, 但似然方法估计的参数更好.

多个有约束的关联子系统构成一个大系统. 对于大系统模型的建立, 一般的做法是先确定出模型结构, 再进行辨识和估计. 由于结构模型的好坏对进一步的辨识与估计影响较

大,故第一步的工作显得相当重要.确定结构模型的工作难点在于系统内部大量非常规物理现象的存在,使得系统结构关系不明确.解决这个问题还要依赖于后面所要提到的各种大系统研究的方法.

1.3.3 分解与协调

分解-协调的思想迄今仍是解决大系统问题的最主要的思想,目前该思想已应用于实际工程项目当中,取得了较为满意的结果.

分解是该方法的第一步,目前主要的分解方法可分为时间分解、空间分解、时间-空间分解.

1. 时间分解(又称垂直分解)

时间分解的目的在于通过将控制作用分成不同层次上的控制来实现复杂的控制规律.当前专家公认的分解模式如图 1-3 所示.

第 1 层直接对系统进行控制,使系统维持在设定点上.

第 2 层完成对设定点的最优化.

第 3 层实现实时辨识优化层所使用的模型中的不确定参数值.

第 4 层为决策层,实现下层模型结构和控制策略的选择.

以上若干层在控制的作用、使用的模型以及模型的动静态特性等方面均有所不同,并且随着层次的上升,时间尺度亦有所变化.

从大系统时间(垂直)分解若干年来的研究看,真正能实现自适应、自组织功能的困难是相当大的,还没有一个成功的例子.

2. 空间分解(又称水平分解)

这种分解方式是将整个系统分解成多个彼此独立的低阶子系统,分别由一个局部控制器完成控制任务.空间分解的第一步工作是要定义出子系统,可通过结构模型的分解或根据控制作用的影响范围来定义子系统.更直接的是按照系统的自然形式来实现空间分解.分解时并不是全部忽略关联作用,只是暂时将关联变量设定为常值,然后按各子系统完成辨识和估计,再进一步修正关联值和估计参数,渐次达到最优或次优解,这个工作就自然要涉及下文的协调问题.

分解求得的各子系统问题的解决,并不代表整体问题的解决,要得到较优化的解,则是协调的任务.协调的方法很多,主要有目标协调法、关联预估协调法等.

目标协调法的基本思想是通过改变子问题的目标函数来进行协调.该方法将关联约束方程的拉格朗日乘子取作协调向量,在协调过程中不断修正子问题的目标函数,直到获得最优解.在协调过程当中不能保证各个子系统之间的关联约束条件得到满足,也不能保

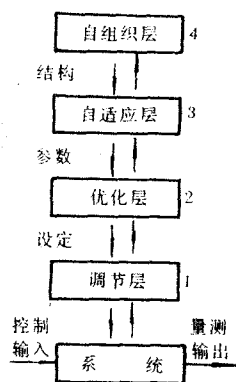


图 1-3 控制系统的时间分解

让每个中间解都处于总体问题解的可行范围内,只有在协调过程结束时才能满足关联约束条件.该方法又称为关联平衡法或非现实法,还被称为“非可行法”,指的是迭代过程的中间解是不可行的.

关联预估法又分为模型协调法和混合协调法.

模型协调法与前面的目标协调法不同,它可以被理解为目标协调法的对耦方法.特点是在整个协调过程中系统的全部约束条件均能满足,到了协调结束时系统性能达到最优,故又称为现实法或可行法.

模型协调法仅预估了子系统的关联输出,这是不太可靠的方法,故在实际应用时常将前两种方法结合起来使用,形成混合协调法.

在大型计算机控制系统中,并不是所有的方案都有协调这一步骤.原因是,对于地理分布非常广,子系统的关联性又不太强的系统,在加入协调后,不一定有显著的性能改善效果,反而会使系统更加复杂,付出更加高昂的代价.这样,在获得各子系统的最优方案后,不再进行协调,只要求总体问题的解能满足一定的要求即可.

根据系统是否需要协调,可以将分解法控制分为递阶控制和分散控制,下一章将专门涉及这几种分解控制方法.本书的第二部分及第三部分将在天然气田控制系统设计和现代化楼宇监控系统设计的实例中继续阐述分解与协调的问题.

1.3.4 简化及多目标方法

将大系统问题变换为与之等价的规模较小或较易处理的问题,再用传统方法求解,称为简化.简化可分为模型简化和控制规律的简化.同分解一样,简化也是一种解决大系统问题的方法.目前简化的方法主要是基于降阶思想的时域法,它包括集结法和摄动法等.前者通过线性变换来减小模型的规模,后者利用奇异摄动有效地解决多时间尺度模型的规模.另外还有与频域有关的简化方法,这都属于模型的简化.控制规律的简化基本思想是,先将附加参数与系统模型结合起来,于是系统变量展开成的级数内包含了这些参数,从而进一步将非线性两点边值问题转化成了一系列分段线性两点边值问题,经处理后可得到简化的控制规律.

在实际工程中常会遇到一些相互矛盾的问题,例如高性能与低成本,就是相互矛盾的目标,这属于被决策者的多元化.又如气田的集气站与集气总站要实现的目标有可能相互冲突,这是决策者的多元化问题.这就需要使用多目标优化的方法,一般情况下多目标的解并不是最优的,而是次最优的.系统越复杂,解的不确定性就越明显,这时追求精确最优解既不可能,也没有必要.系统复杂到一定程度,对其精确描述的意义就大大降低了,此时满意的次优解就可认为是最优解.

1.3.5 大系统优化问题

大系统在复杂程度和规模上都是一般系统难以比较的,故而给系统性能改善带来了一系列困难.但对大规模系统性能即便是微小的改善,也可能在实现上带来更多的便利或可观的经济效益,故对大系统的优化是十分重要的.较之一般的小型系统的优化问题,我们讨论的大系统优化又存在哪些特点或难点呢?

一般说来,大系统的优化问题存在以下一些特点:

- (1)大系统的复杂性使得优化问题增加了更大的难度,非常规优化所能解决.
- (2)高维数、多约束、多变量,比一般问题多出若干数量级.
- (3)具有各种决策和控制变量的混合性质,包括时变与定常混合,离散与连续混合,动态与静态的混合等.
- (4)系统状态存在严重的不确定性,这来源于社会的、经济的、人为的、设备本身的许多随机不确定性.

正像其它理论发展过程一样,大系统优化问题的解也是挑战与机遇并存的.一方面,上述的优化问题的难点,使得用一般的系统理论、优化和控制理论及计算技术在当前条件下无法得出满意的结果;另一方面,我们通过仔细研究上述特性,不难找到解决优化问题的突破口.例如在实际应用中的系统结构常具有特殊性,其约束矩阵是稀疏的对角块结构或半可分离的,目标函数和约束函数,可分离等,这些特殊的性质正是优化问题的出发点.20年来对大系统优化问题的研究,已逐步形成了一套优化理论,并应用于实际系统中.大系统的多时标特征促使了降阶和聚集理论的产生;对大型关联系统弱交互作用的研究,产生了分解优化定理,等等.

大系统的优化分为静态和动态两大部分.目前静态优化的研究工作较为成功,指的是数学规划问题,而动态优化主要涉及最优控制问题.在工程实际问题中,经常遇到的是静态优化问题,对于较为复杂的问题,常常采用简单化处理的办法,用静态方法求解.一般要求解的问题常常涉及成千上万,甚至数百万个变量,并有较强的非线性和随机性,所以求解的途径和方法也有不同.这些解法中,第一种办法是从一般系统的优化解法引伸而来,与大系统问题相结合,获得大型系统的优化解法,如将原始的单纯形解法进行改进.第二种方法继续运用了第1.3节中强调的分解-协调的思想,将原来的大系统划分成若干子系统,分别优化、协调,反复迭代计算,以求得最佳逼近的解.第三种方法则是不同于以往的各种解法的新的计算方法.这类方法中一个有代表性的解法是1984年N. Karmarkar在线性规划理论基础上提出的多项式算法,随后这一算法得到了进一步的改进.

下面我们以一个水污染控制问题为例,来说明优化的基本问题.随着工业发展和人口的增加,人类的活动造成了河流水质的下降.河流水质的良好程度主要由两个量来度量:生物化学需氧量BOD和溶解氧量DO. BOD是有机物分解时氧气吸收率的一种度量.河水中的DO下降到一定程度或BOD上升到一定水平,水中的鱼类生存就会受到威胁.河水污染控制的目的是通过废水先处理再排放,保持河水的BOD与DO含量在合理的范围内.由于不确定干扰的存在,使得水质平衡常常受到破坏,我们的任务就是既要通过实时改变污水处理的级别来恢复被破坏的水质使其达到正常的水平,又要使费用最少.这是分段河流多处理厂多污染源的优化控制问题.

假定河流如图1-4所示.设控制段分为 n 段,每段中污水源的有无用1或0来表示,则对于第 i 段来说有:

$$\sum_{j=1}^m d_{ij} W_j (1 - X_j) \leq e_i$$

其中, W_j 为第 j 个河段中污水输入对应的生物耗氧BOD要求; X_j 为经第 k 个处理厂处理减少 W_k 的百分比; d_{ik} 是在第 i 个河段内抵销污水注入河流对应的一单位BOD所需的DO量. $k > i$ 时,即处理厂位于第 i 段河流的下游,有 $d_{ik} = 0$; e_i 则表示在河段 i 可利用的