

《信息、控制与系统》系列教材

大系统理论 及其应用

陈禹六 编著

清华大学出版社

《信息、控制与系统》系列教材

大系统理论及其应用

陈禹六 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书从大系统的模型简化开始,介绍了大系统控制和优化的基本理论和方法。详细论述了分级递阶和分散控制这两种大系统的基本控制方法,以及大系统的结构特性和随机大系统的控制问题,广泛地介绍了不同类型系统工程问题的建模和优化方法,最后还介绍了大系统控制的计算机实现问题。

本书为电类专业和系统工程专业研究生或本科生选修课的教材,还可供其他各个工科专业要应用大系统理论的研究生和工程技术人员参考。

《信息、控制与系统》系列教材
大系统理论及其应用
陈禹六 编著

☆

清华大学出版社出版
北京 清华园

北京昌平环球科技印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 22 字数: 555千字
1988年7月第1版 1988年7月第1次印刷
印数: 0001—6000 定价: 4.00元
ISBN 7-302-00195-2/TP·79(课)

《信息、控制与系统》系列教材

出版说明

《信息、控制与系统》系列教材是一套关于信息、控制和系统学科的基本理论和应用技术的高等学校教材。选题范围包括信号和信息处理、模式识别、知识工程、控制理论、自动化技术、传感技术、自动化仪表、系统理论、系统工程、机器人控制、智能控制、计算机应用和控制等方面。主要读者对象为自动控制、计算机、过程自动化、无线电等系科的高年级大学生和研究生，以及在这些领域和部门工作的科学工作者和工程技术人员。

信息、控制与系统科学是在本世纪上半叶形成和发展起来的新兴学科。它们的应用和影响已经遍及众多的部门和领域，贯穿其中的许多思想和方法已用于经济和社会现象的研究，而以这些学科为理论基础的自动化技术的广泛应用更是实现现代化的重要标志之一。这套系列教材正是在这样的客观要求下，为适应教学和科研工作的需要而组织编著和出版的。它以清华大学自动化系近年来经过教学实践的新编教材为主，力求反映这些学科的基本理论和最新进展，并且反映清华大学在这些学科中科学研究和教学研究的成果。我们希望这套系列教材，既能为在校大学生和研究生的学习提供较为系统的教科书，也能为广大科技人员提供有价值的参考书。

组编和出版这套系列教材是一次尝试。我们热忱欢迎选用本系列教材的老师、学生和科技工作者提出批评和建议。

《信息、控制与系统》系列教材编委会

一九八七年三月

《信息、控制与系统》系列教材编委会

主 编 常 邈

编 委 常 邈 童诗白 方崇智 韩曾晋

李衍达 郑大钟 夏绍玮 徐培忠

责任编辑 蔡鸿程

2007/11

前 言

随着科学技术的发展,生产过程和社会生活中的各种类型的控制系统、管理系统等都日益变得规模越来越庞大、结构越来越复杂。应用通常的控制理论(不论是经典的还是近代的)来分析和设计这些庞大而复杂的大系统时,遇到了所谓的“维数灾”。为了寻求解决这一问题的理论和方法,从六十年代后期起,就有人开始进行“大系统理论”的研究。但是,由于“大系统”涉及的面太广,研究和分析的工具各种各样,迄今为止,“大系统理论”作为一门学科尚未形成确切的定义和范畴。近几年,我们结合科研给研究生开设了“大系统理论及其应用”课,其教材经逐年扩充和修改,初步形成了一个便于讲授的体系。这个体系侧重于大系统的控制和优化,可以适合于比较多的理工科专业。由于选修这门课程的学生,不仅有自动化系、电机系、无线电系和计算机系等电类专业的,还有经济管理系、热能系、化工系、水利系、工程物理系、土环系……等非电专业的,而我们讲授过程中,是以学生已经在大学本科阶段学过“自动控制理论”和“最优化技术基础”等前置课程为基础的,所以为了能使这本教材也适合于未学过上述课程的学生,本教材也将线性规划、最优控制和估值滤波等基本知识提纲挈领地作了一些介绍。这部分内容在课堂上可根据情况酌情讲授,主要是供非电专业的同学参考,以便在学习本课程时能起一点承上启下的作用。

这本教材的内容,主要参考几本国外已有的“大系统”教材:M. Jamshidi, “Large Scale Systems: Modeling and Control”, M. G. Singh and A. Titli, “Systems, Decomposition, Optimisation and Control”, D. D. Šiljak, “Large Scale Dynamic Systems: Stability and Structure”以及各种有关的论文。第三、六章包含了作者本人的一部分科研成果。

全书的组织结构如下:第二章、第四章的大半、5.1节、8.2节、9.3节和第十章少量内容是属于补充基础知识的,第三章的模型简化是开始分析大系统这一对象的基本手段,4.11节和第五章,以及第六章,构成了大系统控制的两大基本分支——分级递阶和分散控制,这部分应是大系统理论、特别是所谓“大系统控制论”的重点,因为这些理论算法和控制原则,不仅对狭义的控制工程有用,而且可以推广到其他很多领域。第七章和第八章则是在控制理论领域中比较深入的问题,理论上要求不太高、数学基础稍弱的学生可以跳过去,不学它。第九章为了开阔眼界,写得面比较广,不能很深入。实际上“大系统理论”还有很多已经有很大发展的课题,如“不确定性问题”、“可靠性理论”、“排队网络的应用”、“大系统决策”、以及“耗散结构、协同论如何用于分析巨系统问题”等等,有些在本书中略略提到一点,有些则因限于篇幅而没有能写到。还是那句话,“大系统”这课题实在太大了,而且不断有新内容涌现。可以预言,再过两年,这里“拉洋片”式地扩展出来的内容,又会成为众所周知的基本知识。我只是希望,过几年争取把这部分内容再翻新一次。第十章写了计算机实现的问题,其主要目的在于促进大系统理论能更快更直接地为当前四化建设服务。该章大部分是由我校电机系黄益庄副教授编写的。另外,每章附有一些习题或思考题,以利于对教材基本内容的理解,其中大部分习题是我的研究生鲁为民同志编写的。书中用外文

字母表示矢量和矩阵时，小写黑体(极个别为大写)一般表示矢量，小写白体字母表示标量，大写白体字母表示矩阵。

最后要提到，本书初稿在作为油印教材使用时，我系自动化教研组和系统工程研究室的部分同志，特别是郑维敏教授，曾给予很多帮助，全书定稿后，又经吴麒教授审阅，并提出不少宝贵意见，在此深表感谢。

限于本人水平，错误与不妥之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

陈禹六

1987年1月于清华大学

目 录

第一章 绪言	1
§1.1 什么是“大系统”	1
§1.2 本课程的主要内容 (若干基本概念)	2
参考文献	5
习题	5
第二章 建模和参数估计	6
§2.1 概述	6
§2.2 根据系统工作机理列写数学模型	6
§2.3 参数估值	12
2.3.1 极大似然估计	12
2.3.2 最小二乘估计	13
2.3.3 递推最小二乘估计	14
2.3.4 用最小二乘法估计动态模型的参数	15
2.3.5 广义最小二乘估计	18
2.3.6 多步最小二乘估计 (MSLS) 法	21
§2.4 大系统参数辨识的特殊问题	22
参考文献	22
习题	23
第三章 模型简化技术	24
§3.1 概述	24
§3.2 集结法	25
3.2.1 精确集结	25
3.2.2 模态法	28
3.2.3 连分式法	30
3.2.4 链接集结	33
3.2.5 使误差最小化的降阶	37
§3.3 摄动法和双时标系统	40
3.3.1 弱耦合模型	40
3.3.2 强耦合模型	44
3.3.3 双时标系统	46
§3.4 电力系统中基于“同摆”的集结法	52
§3.5 描述变量法	55

3.5.1	描述符变量系统	55
3.5.2	可解性和可制约性	56
3.5.3	定常系统的计算方法	58
§3.6	频域模型简化技术	59
3.6.1	矩匹配法	59
3.6.2	Padé 近似	63
3.6.3	Routh 近似	64
3.6.4	连分式法	67
§3.7	小结	69
	参考文献	70
	习题	71

第四章 数学规划和分解协调77

§4.1	引言	77
§4.2	线性规划的基本知识	77
§4.3	单纯形法	79
§4.4	修正单纯形法	85
§4.5	线性规划问题的对偶性	94
§4.6	丹兹格-沃尔夫分解算法	95
§4.7	非线性规划的一些基本概念	99
§4.8	一维搜索	102
4.8.1	划界和多项式近似	102
4.8.2	斐波那契法和黄金分割法	103
4.8.3	切线法	106
§4.9	无约束非线性规划	106
4.9.1	梯度法	107
4.9.2	共轭梯度法	108
4.9.3	变尺度法	109
4.9.4	单纯形搜索法	110
§4.10	有约束非线性规划	113
4.10.1	最优性条件 (库恩-塔克条件和二阶充分条件)	113
4.10.2	最小-最大对偶问题	117
4.10.3	可行方向法	119
4.10.4	线性逼近法	120
4.10.5	制约函数法	121
§4.11	大系统的分解协调	123
4.11.1	问题的描述	123
4.11.2	非现实法 (目标协调法)	125
4.11.3	现实法 (模型协调法)	128

4.11.4	混合协调法	130
4.11.5	三种方法的比较	131
4.11.6	非线性耦合的系统	132
4.11.7	非加性可分的问题	133
§4.12	小结	134
	参考文献	135
	习题	135
第五章	动态系统的分级递阶控制	139
§5.1	引言及低维系统优化原理	139
§5.2	连续系统的开环递阶控制	144
§5.3	田村三级算法	146
§5.4	田村时延算法	148
§5.5	关联预报法	153
§5.6	连续系统闭环控制	155
5.6.1	利用关联预报的闭环控制	155
5.6.2	利用结构摄动的闭环控制	157
§5.7	共态预报法	163
§5.8	小结	169
	参考文献	169
	习题	170
第六章	大系统的分散控制	176
§6.1	概述	176
§6.2	交连结构和交连稳定性	177
6.2.1	问题的提法和定义	177
6.2.2	比较原理	178
§6.3	固定模和固定多项式	180
6.3.1	定义	180
6.3.2	如何计算固定模	182
6.3.3	检验固定模的判据	185
§6.4	从子系统局部控制器出发的分散控制设计	187
6.4.1	用分级递阶结构作计算的设计方法	188
6.4.2	修正目标函数的设计方法	191
6.4.3	模型跟随器方案	193
§6.5	作为有结构约束全局最优化的分散控制设计	196
6.5.1	Geromel和Bernussou的算法	196
6.5.2	求初始分散稳定反馈阵的改进方法	201
6.5.3	逐次迭代块对角化最优控制算法	204

§6.6	其它分散控制稳定化的方法	208
§6.7	未知模型对象的分散鲁棒控制	211
6.7.1	未知模型伺服系统跟踪增益阵的计算	211
6.7.2	分散鲁棒控制器存在的条件和调节方法	214
§6.8	小结	215
§6.9	附录	215
	参考文献	216
	习题	217
第七章	大系统结构特性	222
§7.1	引言	222
§7.2	李亚普诺夫稳定法	222
7.2.1	定义和问题	223
7.2.2	稳定性判据	224
7.2.3	交连稳定性判据	227
§7.3	输入-输出稳定法	229
7.3.1	问题的由来和提法	229
7.3.2	IO 稳定性判据	231
§7.4	合成系统的能控性和能观性	233
7.4.1	频域法	234
7.4.2	广义结合法	237
7.4.3	系统能连性法	241
§7.5	结构能控性和能观性	245
7.5.1	矩阵的结构和秩	245
7.5.2	结构能控性条件	246
7.5.3	从系统能连性看结构能控性和能观性	249
§7.6	小结	250
7.6.1	大系统稳定性的讨论	250
7.6.2	大系统能控性和能观性的讨论	253
	参考文献	253
	习题	254
第八章	大系统的状态估计和随机控制	258
§8.1	引言	258
§8.2	集中控制系统的估值滤波和随机控制	258
§8.3	极大后验法作多级离散系统辨识	263
§8.4	补充分割法	268
§8.5	分散结构状态观测器	270
§8.6	用对偶法解L、Q、G问题	280

§8.7 小结	281
参考文献	281
习题	282
第九章 大系统理论和系统工程	284
§9.1 引言	284
§9.2 系统工程中的建模问题	284
9.2.1 代用价值折衷法	285
9.2.2 分级全息建模	288
9.2.3 工业大系统中的功能性多层次控制结构	290
9.2.4 投入-产出模型	292
9.2.5 解释结构建模	294
9.2.6 把国家看作一个大系统时的模型结构	297
§9.3 其他类型大系统的优化方法	298
9.3.1 最短路径问题	298
9.3.2 关键路线法	301
§9.4 小结	305
参考文献	305
习题	305
第十章 大系统控制的计算机实现	306
§10.1 引言	306
§10.2 正确选择计算机机型	308
10.2.1 对控制用计算机系统的要求	308
10.2.2 选择机型要考虑的重要特性	309
§10.3 多级计算机系统的组成	312
10.3.1 总线	312
10.3.2 局部网络	320
§10.4 TDC-2000集散系统简介	325
§10.5 其他集散系统产品的介绍	330
§10.6 计算机智能集成管理(制造)系统	331
10.6.1 什么是 CIMS	331
10.6.2 简短的历史回顾	332
10.6.3 实现CIMS的内容及成本与效益估计	333
10.6.4 CIM系统的建模	334
10.6.5 未来运行管理上的问题	336
10.6.6 CIMS对理论学科的要求	337
§10.7 小结	337
参考文献	338
习题	338

第一章 绪 言

§1.1 什么是“大系统”

从60年代末期有人提出“大系统理论”这一名词及其相应的理论以来，大系统理论在社会各个方面已有了广泛的应用和很大的发展。不仅在控制工程，还在经济系统、生物工程、环境保护、社会系统……等许多方面，都有不少学者从不同的角度来研究这一课题。但到底怎样的系统算大系统，多大才算“大”？还没有人能给出一个确切的回答。1983年6月IEEE的三个分会联合出了一期大系统专刊，其主编 Saeks 教授在“编者的话”中就说过，现在各方面都在研究大系统理论，从网络到数字方法、从社会系统到控制理论，但总的说来我们对大系统领域的理解还好象是瞎子摸象，不同领域的人还只了解其一个方面，现在则是要“让大象跳起舞来”。也就是说，我们的任务是要形成一个完整的学科，使之发展成熟。这段话，对于四年后的今天，也还是适用的。基于这个情况，我们当然也不必白费精力去追究大系统的定义，而只是想从它的特点出发，用两个典型例子来说明“大系统”这个概念到底包含了些什么内容。

一般来说大系统的特点在于：高维数、多目标、关联性、分散性，更复杂一些的则有不确定性（随机性、模糊性、发展性）和主动性（有人的参与）。

譬如我国的各大区电力系统（如东北、华北、华东……等电网），都有一个总调度室，下面为“省调”，再下面为“地调”。每个地区有很多电厂和大变电站，每个电厂有好几个发电机组，每个发电机组有自己的一套调节系统。如果以每个发电机组的调节系统作为基本的子系统，由于已经联成了电网，各个子系统之间存在着耦合，又有几个不同层次的控制和管理，以求整个电力网运行在最优状态。这种研究课题把原来用一般控制理论研究的几个或十几个变量的调节对象，扩大成了成百个甚至上千个变量的对象。求解这类问题，如果还用传统方法就将在数字计算上遇到很大困难，甚至是一种灾难，必须另找出路。另一方面，实际物理系统是由很多小系统组成的，又有上下级的关联和协调，针对这种关系也需要提出新的设计和处理方法。这种对一个复杂系统，不看成是一个高维的整体进行设计，而是分成多级（多层）耦合的子系统，上级需对下级子系统间的关联进行协调，或者要分散地为每个子系统设计一个考虑了与其他子系统关联的局部控制器。这就是大系统理论所研究的问题。在这里，维数是首先碰到的问题，拿一个更具体的例子来说，譬如美国东部三州的联合电网，按1980年的资料就包括120个电站，555个机组，总容量42283MW，每个机组按四个状态变量考虑，就有两千多个状态变量。对这样的高维对象当然要进行各种形式的简化降阶，简化的关键就是要考虑和处理各个子系统之间存在的关联耦合，也正因为子系统之间的关联是将一个系统作为“大系统”研究时的一个重要特点，所以又有人把我们所说的大系统称之为关联系统（Interconnected System）。

第二个例子，可以以北京市城市发展规划或管理为例。从地理上说，北京有十九个区，

县；从行政管理上说，市政府有很多职能局；从工商企业来说，有各种各样的行业……。总之，条条块块都有自己的独立性，成为一个小系统，但又错综复杂地交织在一起，不仅内部有关联，而且与国内其他省市以及其他国家或地区都有着广泛的联系。如果要为这样的系统建立模型，进行优化，作出发展方面的预测，必然要受到各种条件的制约。很多参数是不确定的，还有很多是政策性很强的“人为因素”。譬如工业产值，居民生活设施，污染控制和环境美化等等之间的权重如何加，就不是用一个简单的数学公式能够算得出来的。但这样的系统也还是可以用分解协调的观点，用大系统的一些优化手段进行分析和设计的，只是社会系统的不确定性更多一些。本课程中将在第九章对社会系统提出一些基本看法，但是限于篇幅不能作详细分析了。

另外“大系统”也不一定是在物理尺寸上很大的东西。如我们称之为特大系统或巨系统的人脑，体积很小，但是人脑的110亿个细胞之间关联的复杂程度则是其他系统无法比拟的。只是其研究的方法和手段和其他系统有类似之处。

总之，由于大系统所研究的对象维数过高，想要作集中计算是不可能(或极不经济)的。因为缺乏集中全部系统信息的可能性，必须按对象本身的性质，考虑成若干相互耦合的子系统，然后再从全局出发进行分析设计。这种对象可以是社会、经济、管理、环境、能源、水资源、数据文件网络、电力网、运输、宇航、生态、柔性生产网络等等。设计时要考虑的目标也不仅有经济的指标和系统过渡过程的要求，还应包括其他一些重要的因素，如通讯的可靠性、获取信息的代价等等。而把这一种覆盖领域如此之广，目标又多种多样的问题，提炼出其共同的特点和优化方法，这就是大系统理论的任务。

§1.2 本课程的主要内容 (若干基本概念)

从前面介绍的大系统理论的主要研究任务出发，本课程大致分为下述几部分：

1. 建模 (Modelling)

一般对象模型有物理模型和数学模型两种。但对于高维的大系统来说，主要研究的当然是建立数学模型。从物理对象抽象出数学模型是一项极端重要但又是比较困难的工作，这项工作要由各个行业的科技人员对本行业的对象进行深入分析，提炼出其主要因素，写出数学表达式。现在还没有同时适用于各种行业的普遍方法，所以我们不能在这方面讲得很多，而将把注意力放在如何对已建立的高阶模型进行降阶简化方面。另外，正如控制理论有时域和频域两大类一样，数学模型的简化方法也将分时域和频域两类来讲。时域部分将介绍集结法和摄动法；频域部分则要介绍Padé近似，连分式法以及模态法等方法。这些方法国内外都有很多学者在进行研究。

2. 分级递阶控制 (Hierarchical Control)

最早对大系统进行分解 (Decomposition)，然后在子系统水平上进行处理和优化设计的，大概要算 Dantzig 和 Wolfe，他们在1960年提出了一种线性规划的计算方法(第三章将详述)。因为实际上大的线性系统的系数矩阵往往是很稀疏的，因此有了“分解”的思想，以后“解耦” (Decoupling) 的做法就自然产生了。这方面 Mesarovic 等人做了很多工作，他们就提出了“多层” (Multilevel) 或“分级递阶” (Hierarchical) 的方法。譬如图1-1所示的两级系统，原来系统中的各个子系统送出其局部解 $a_i, i=1, \dots, n$ ，然后在第二级设

置一个协调器,综合考虑了各系统的局部解,向子系统送出关联值 $\beta_i, i=1, \dots, r$, 反复迭代和修正 α_i 及 β_i , 目的在于找到对总系统来说是最优的运行状态。

下面我们再用一个简单易懂的例子来说明上述概念。譬如有一个木器厂,有两个车间,第一个车间生产书柜 x_1 , 每个书柜价值100元; 第二车间生产写字台 x_2 , 每个写字台价值150元。第一车间的生产能力为每月不超过40个书柜, 第二车间为每月不超过30个写字台。写字台需用木料为书柜所需木料两倍。厂部每月能购进的原料则只有相当于80个书柜的料, 问如何组织生产才能使全厂产值 (Z) 最高?

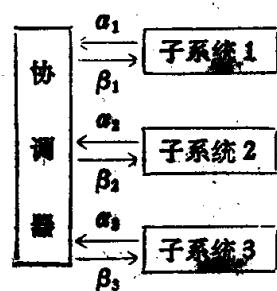


图 1-1

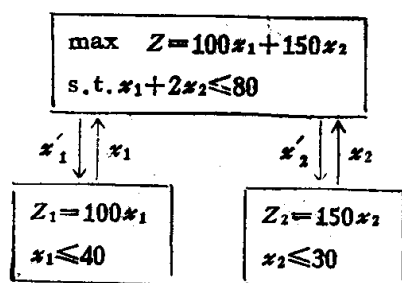


图 1-2

这一问题可以用图 1-2 的两级系统来加以描述。第一种管理方法是厂部将原料分配给两个车间。就可能有 $x'_1 = 30, x'_2 = 25; x'_1 = 40, x'_2 = 20; x'_1 = 50, x'_2 = 15; \dots$ 等等不同方案, 基本约束条件是 $x'_1 + 2x'_2 \leq 80$ 。由此可以算出只有在 $x_1 = 40, x_2 = 20$ 时, 产值最高: $Z = 7000$ 元。这实际上是一个公式化以后非常简单的线性规划问题。

第二种管理方法是厂部对每份原料订出价格 y 元, 要求各车间自行安排, 使本车间产值最高。此时其结构和公式如图 1-3 所示。当 y 订得较低(如 $y = 50$), 则两个车间都要求按其生产能力的极限进行生产——即 $x_1 = 40, x_2 = 30$, 此时需用100份原料, 不可能实现。而如 y 订得过高使某个车间产值变负, 则他一定选产量 $x_i = 0$ 。只有当 $y = 75$ 元时, $Z_1 > 0$, x_1 取40; Z_2 可在 x_2 为任意数时均为零,

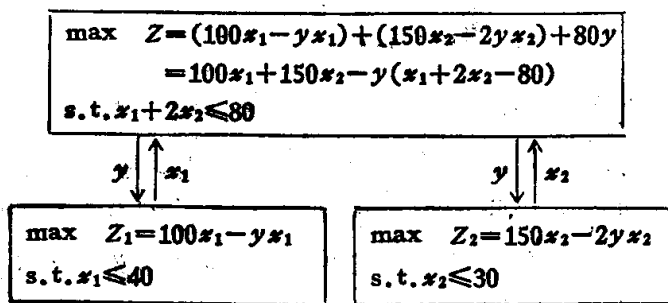


图 1-3

则按原料情况可取 $x_2 = 20$, 厂部总产值也得到 $Z = 7000$ 元。还可以看出, 这里把不等式约束乘以一个乘子成为目标函数的一部分, 这个乘子 y 又叫作“影子价格”。

这两种方法中前一种是对耦合条件进行分解协调, 可称为模型协调 (Model coordination), 又因在协调过程中的各个方案尽管性能指标有差别, 但都是现实可行的, 故又称现实法 (Feasible method)。后一种是用耦合关系对目标函数进行协调, 可称为目标协调 (Goal coordination), 在协调过程中的各个方案不一定是可行的, 故又称非现实法 (Nonfeasible method)。这种把分解后的子系统设计固定在第一级, 而把协调任务放在第二级的做法, 往往能得到唯一优化的可行解, 系统用分层结构来描述也比较方便, 系统的信息资源能得更充分的利用, 可靠性和灵活性都提高了。这些优点使得分级递阶系统的研究受到了很大的重视。但在有些情况下分级递阶控制引入的复杂的上下级通讯联系, 又反而会降低了可靠性, 或者使问题复杂化了, 这就导致下面所说的另一种系统——分散控制在近年内很快发展起来。不过, 在社会问题、经济、管理等问题中, 自然地或者必然存在着上下级关系, 系统的分析和综合就一定要用到分级递阶控制的理论和方法。

3. 分散控制 (Decentralized control)

分级递阶控制上下级之间的通讯比较多，在某些情况下系统的复杂化往往导致可靠性的下降。仍以电力系统为例，如要用分级递阶控制，则中央控制计算机必须取得很多来自局部控制器的信息，这些通讯往往是长距离的，要求投资就比较高。如出现故障，有时就好象是反馈系统出现反馈线断开那样，会导致严重的后果。假如我们设计时就能考虑在这种断线情况下，系统还不失去稳定，这就是一种结构上的鲁棒性，如图 1-4 所示，有某个联线断开了，此时要求系统还能稳定运行。再进一步，如果到中央控制的联系都断了，只是由子系统之间的关联组成了一个网络，每个子系统的局部控制器只能检测到所在子系统的信息，而了解其他子系统。这种结构就是所谓分散控制，如图 1-5 所示。它避免了远距离的通讯，降低

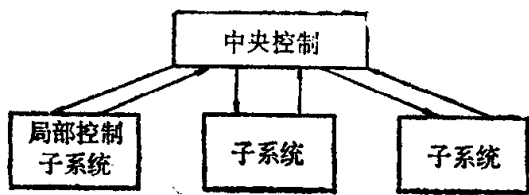


图 1-4

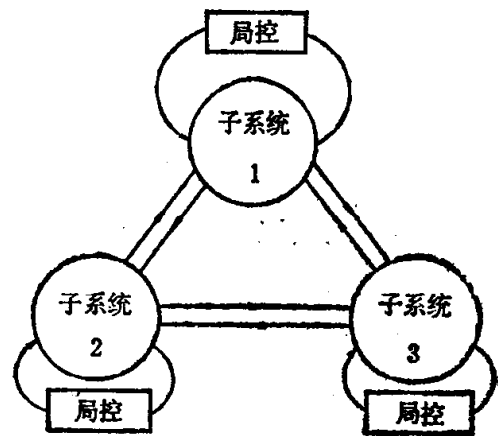


图 1-5

了初投资，提高了可靠性。当然相对于全局的调节控制来说，性能指标上只能达到次最优。

另外，分级递阶控制主要用作开环控制系统，虽然也有人（如 Singh）对分级递阶的闭环控制作过一些探讨，但为数不多。而分散控制主要是对动态系统的闭环控制，所以在工业控制系统中应用较多。有时候，分级递阶系统和分散控制系统也不是截然分开的两类，可能对既有控制又有管理的系统就必须是这两者的混合体。

基于对分级递阶控制和分散控制的简要介绍，我们虽然无法对大系统作出定义，但可引用何毓琦和 Miller 归纳的大系统的特点如下：

- ① 大系统通常是由多于一个的控制器或者采用了“分散化”算法的决策者来控制的；
- ② 这些控制器可以得到不同的但是相关的信息，也可能是不同时间的信息；
- ③ 大系统可以在一个水平上由多个局部控制器来控制，而其控制作用则要在多级结构的另一个水平上被协调；
- ④ 大系统通常是用不精确的集结模型来代表的；
- ⑤ 控制器可以是以“队”形式出现的成组工作，也可以是以单目标、多目标甚至有矛盾目标的“矛盾”方式工作；
- ⑥ 大系统可以用次最优或近似最优控制来满意地实现优化，有时就称之为“满意”策略。

4. 大系统的结构特性

应用控制理论研究一个控制对象时，首先碰到的是稳定问题。大家也都已经熟悉了用李亚普诺夫法判定稳定以及基于最小增益定理的输入-输出法 (I/O)。对于大系统的稳定性就要在判定子系统稳定的基础上，研究关联作用应满足什么条件才能保证大系统稳定。也要研究结构扰动对稳定性的影响，称之为“交连稳定性” (Connective stability) 问题。

另外，对应于子系统能控性能观性的问题，大系统有“固定模”问题及结构能控性能观性问题也将作一些概念性的介绍，以便对子系统的分割和协调提出一些定性的看法。

5. 大系统理论的前景和其他问题

作为一门新兴的学科，大系统理论还处于没有形成自己的体系的阶段，也就是到底什么方面的内容应该包含在内，还是众说纷纭。譬如大系统可靠性的问题，就有不少内容已有很多人在进行研究，应该成为大系统理论的一个重要组成部分。又如系统工程的发展，在管理、规划和决策等方面都要用大系统的观点进行分析和综合。但是管理系统、社会系统又和工业动态系统有较大的差别，从建模到优化方法都有自己的特点，所用的理论基础也有一些区别。这方面更是一个非常广阔的天地，本课程也就只能作一些概念性的介绍，使大家在知识面上能扩展得稍广一些而已。

随着大系统理论的应用日益广泛，人们对它的重要性的看法也在不断发展，现在有人从它的三个来源：控制理论、系统工程和控制论 (cybernetics) 来分析它的现状，提到它是控制理论从“经典理论→现代控制理论→大系统理论”中的第三阶段；又是系统工程从静态往动态发展的新阶段；又是对大系统领域中实用化的控制论。由此可见大系统理论在人们心目中的位置正在不断提高，这实际上就意味着它将是在理论上和实践上都是大有前途的一门新兴学科。

参 考 文 献

- [1] M. Jamshidi, "Large-Scale Systems, Modeling and Control" North-Holland (1983).
- [2] "Large Scale Systems" edited by Y.Y. Haimes, North-Holland (1982).
- [3] M.G. Singh and A. Titli, "Systems: Decomposition, Optimisation and Control" Pergamon Press Oxford, (1978).
- [4] M.S. Mahmoud and M.G. Singh, "Large Scale Systems Modelling", Pergamon Press, (1981).
- [5] J.D. Palmer, "Large Scale Systems, Systems, Man and Cybernetics Overview" —IEEE Trans. on Auto. Contr. Vol. AC-28, No.6, June 1983, pp. 653~660.
- [6] Y.C. Ho and S.K. Mitter eds., "Directions in Large Scale Systems" Plenum, New York (1976).

习 题

1.1 分别从社会系统（行政管理）和经济系统中找出一个多级递阶控制的例子，并画出结构示意图。

1.2 从工业控制系统中举两个例子分别说明其工作于分级递阶或分散控制的状况，并阐明两种状况的差别和比较。