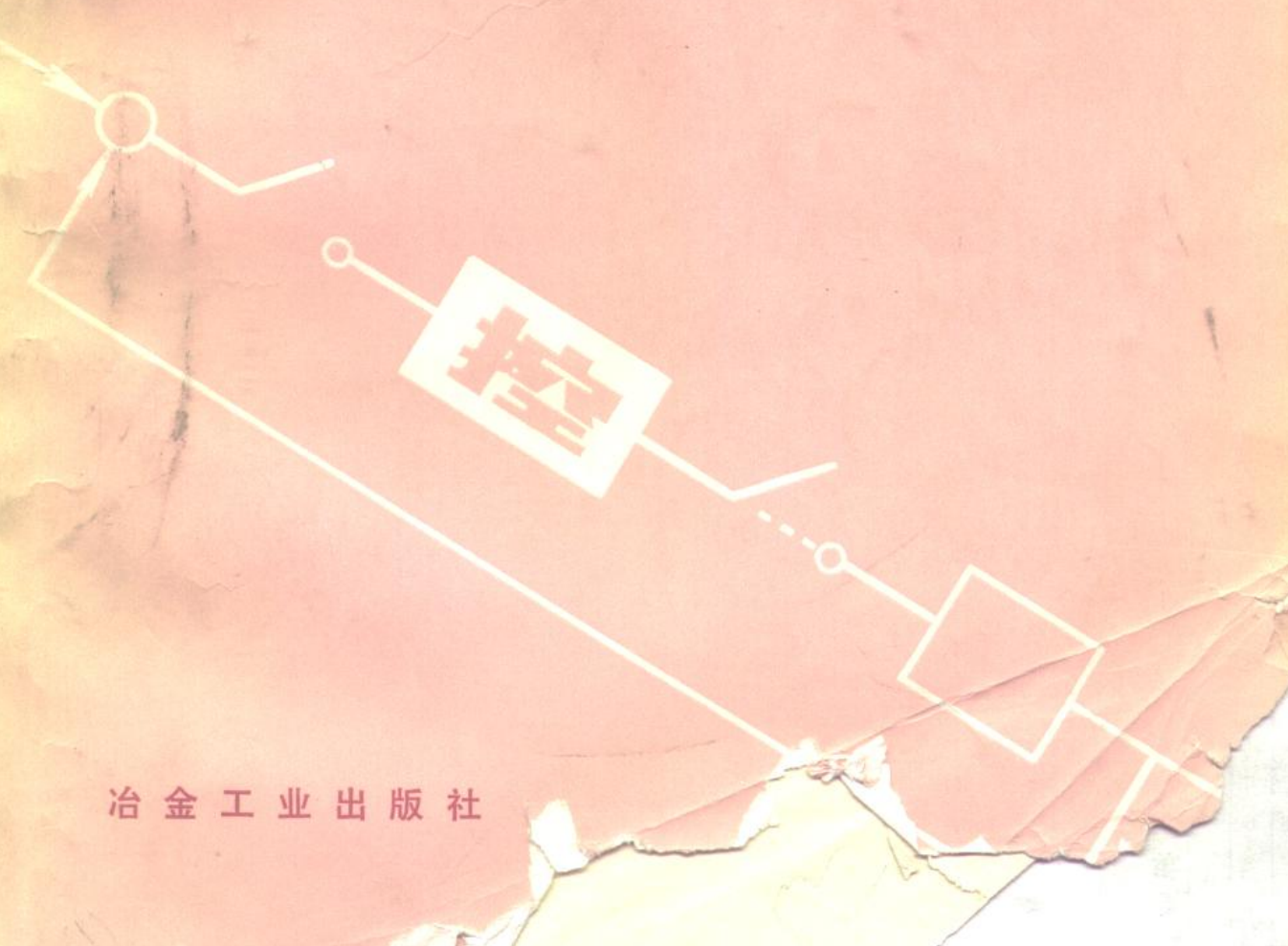


计算机 控制系统

〔日〕松本吉弘 编 李兴烈等 译



冶金工业出版社

计 算 机 控 制 系 统

〔日〕松本吉弘 编

李兴烈 等译

冶 金 工 业 出 版 社

计 算 机 控 制 系 统

〔日〕松本吉弘 编

李兴烈 等译

*

冶 金 工 业 出 版 社 出 版

(北 京 灯 市 口 74 号)

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

冶 金 工 业 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

787×1092 1/16 印张19 1/2字数456千字

1985年3月第一版 1985年3月第一次印刷

印数00,001~15,000册

统一书号: 15062·4176 定价3.60元

译者的话

五十年代末六十年代初，第二代（晶体管）计算机在技术上有了突破，到了七十年代则发展到第四代（集成电路）电子计算机，计算机在成本、体积、速度、存贮容量、外围设备、系统软件以及运行可靠性等方面都有了突飞猛进的进步；与此同时，控制理论也有了重大突破，从频率法发展到使用时域方法，形成了现代控制理论；到了六十年代末七十年代初，人们就把先进的计算机（包括硬件和软件）作为工具和控制理论相结合，从而在空间技术、机械、电力、钢铁、化工、石油等工业的生产过程和企业管理中进行计算机对生产过程的控制和管理，也就是应用这两门新兴的科学，组成计算机控制系统和管理系统，取得了显著的成效。

计算机控制系统是研究如何运用计算机来控制和管理生产过程的科学。本书为控制用计算机用于生产过程控制的自动化和企业管理的科学化，提供了理论基础和实践经验，反映了七十年代中期的科学技术水平，提出了进一步发展的方向。对我国开发计算机科学和应用科学技术，颇有借鉴之处。不过也应指出，近几年来，微型计算机系统迅速发展，本书还不可能提供这方面的应用实例。但本书论述内容仍然适用于微机控制系统。

本书是计算机控制系统工程分析和设计的有力工具；是从事计算机应用技术的工程技术人员和有关计算机应用专业学生和研究生有益的参考书。

本书由日本的工学博士松本吉弘编，于1973年6月初版发行，时隔三年又于1976年4月第二次印刷。本译稿是根据1976年版译出的。

译稿由李兴烈、李文卿、白振海译出。朴世云担任了第一、六章的校对。其余各章由李兴烈担任校对并对全部译稿内容作了全面的审定和文字加工定稿。原书有不少印刷错误与前后不一致的地方，译者已加以改正。原书所附的实物照片，因意义不大，为了便于出版，已予以删略。

由于译者水平有限，译文错误在所难免，恳请读者批评指正。

译者

1983.11

推荐者的话

各产业部门都越来越强烈地要求实现省力化和自动化，并且迫切要求提高控制精度和可靠性。如今人们已普遍认识到采用控制用计算机的许多好处，电子计算机已经成为控制系统中不可缺少的一环。

回顾历史，大约在1956~1957年间，部分工业生产已经试用了控制用计算机，而后随着社会上和经济领域中日益增长的需要，计算机及其应用技术取得了惊人的发展。但是在目前，计算机及其应用技术包括硬件和软件都还仍然处于发展阶段。勿容置疑，今后将以更高的速度向前发展。

计算机控制技术与其它领域相比，更要求掌握应用对象生产过程方面的知识，更要求有很多以此知识为基础的应用技术，并且在软件和硬件的开发和设计中也更需要用户方面的大力协助。可以断言，如果没有用户和计算机生产厂家之间的密切合作，就不能开发出最优计算机控制系统。

本书是应电气书院的请求，由多年在生产第一线工作的东京芝浦电气公司的技术人员编写的。本书主要以电力、钢铁、一般工业及铁路等领域为主，叙述了计算机控制系统方面的最新技术，供从事实际工作的读者参考。

本书的作者都是技术骨干，但他们都是在百忙中抽空编写的，难免有不当之处。不过为了介绍这些新技术，他们已尽了最大的努力。

借本书出版之际，谨向读者表示感谢，并希望本书能为今后从事计算机技术及其应用技术的人们和攻读这方面技术的学生们有所帮助，也希望为日本计算机技术的发展有所贡献。

东京芝浦电气公司

常务董事 佐波正一

1973年2月

前 言

从五十年代中期开始,日本工业界逐渐采用了计算机控制。就工业界对计算机的要求而言,并不要求计算机具有通用功能和很强的运算能力,而是希望把计算机设计成适于完成专门任务的控制用计算机,应该具有投资少、效率高、工作可靠的特点,能成为工业控制系统的一个组成部分。但是在设计这种控制机的初期,管理用计算机尚未配备实时系统,设计人员虽然在电路元件及电路设计方面可以采用管理用计算机的技术,可是在其它技术方面则不得不自行开发。另外,在当时还未使用磁芯主存储器,只能用磁鼓来组成联机实时系统。这种采用管理用计算机的电路设计技术而制成的初期控制机,在可靠性方面暴露出了不少问题。于是在控制机的设计中开始大量采用了在大电机控制装置中发展起来的半导体电路。50年代末期,日本工业界已采用了相当数量的控制用计算机,其中大部分还仅仅处于实用化的探索阶段。在此期间,控制用计算机开始从管理用计算机中分离出来,走上自己独立发展的道路。就计算机本身的产生而言,控制用计算机比现代通用计算机,大约晚了半代,但它是根据专门用途而设计的,其性能价格比较好。不过,也不应忽视通用计算机的最新成果,例如,微程序设计、大容量的辅助存储器、高速廉价的主存储器等,在许多工业用计算机中也都应当加以采用。当然,在采用这些成果时必须慎重斟酌。到了60年代后期,控制用计算机又经历了省力化浪潮的推动。如今,尽管控制用计算机在不同的行业有着不同的地位,但它已经是控制系统中不可缺少的一个组成部分。这样,计算机研制人员所担负的责任变得更重了,他们借助于迅速发展的电子技术,正以惊人的速度创新和发展着控制用计算机。

第一章叙述了有关计算机本身的最新技术。第二章归纳叙述了计算机控制算法及建立生产过程数学模型所必需的数学方法。从第三章开始叙述了计算机控制系统在火力发电、原子能发电、电力系统、钢铁、一般工业、铁道工业生产过程中的实际应用,当然,还有其它领域中的应用,但是根据电气书院的指定范围,不予赘述。

本书执笔者均为从事第一线业务工作的技术人员,其姓名如下:

- 第一章 松本吉弘
- 第二章 桑田龙一
- 第三章 河原春郎
- 第四章 河原春郎
- 第五章 栅木坚
- 第六章 角忠夫
- 第七章 菅谷河彦
- 第八章 栗原征机

由于各应用领域的基础理论不同,在各章都适当地叙述了其基础理论,大体上基础部分与应用部分的比例为二比一。如果读者是在控制系统方面工作2~3年以上的技术人员,就可以完全理解本书的内容。

对于硬设备，因为已有很多公开发行的说明书可供参考，在本书中未作具体说明，甚至对于计算机本身也始终看作是控制系统的一个组成部件，未作深入的叙述。本书主要以计算机控制系统设计人员所必须掌握的基本知识为中心内容做了详细的说明。

最后，在本书脱稿之际，谨向指导本书编辑出版工作的电气书院表示敬意，也向帮助实现本书出版的东京芝浦电器有限公司的田口匡男先生深表谢意。

松本吉弘

1973年3月

目 录

第一章 控制用电子计算机系统	1
第一节 系统结构	1
一、组成多机系统的目的	2
二、串联系统	3
三、并联系统（又称双重系统）	3
四、多处理机系统	5
五、多台计算机系统	6
六、分级系统	7
第二节 可靠度	8
一、有关可靠性的术语	8
二、多机系统的可靠度	11
三、可靠度水平	16
四、可靠性技术（RAS 技术）	21
第三节 实时多道操作系统	25
一、操作系统的典型例子	26
二、监督程序用术语	29
三、监督程序的结构	33
四、任务管理	35
五、存贮区管理	37
六、中断控制程序运行	37
七、监督程序的组成	38
八、监督程序子系统的动作	39
第四节 用户软件	39
一、在线批处理（自由时间系统）	41
二、面向问题的软件	42
第五节 固件（firmware）	45
第六节 系统过载	46
第二章 计算机控制理论	49
第一节 计算机控制的各種方法	49
第二节 状态空间法（状态变量法）	57
一、系统的状态方程式	57
二、线性定常系统的状态转移方程式	58
三、由传递函数求解一阶联立方程式的方法	60
四、离散系统的状态转移方程式	65
第三节 有限整定时间响应控制	68
一、根据采样控制理论而进行的系统设计	69
二、用状态空间法进行的系统设计	71
第四节 多变量控制	75

一、不互相影响的控制	75
二、状态控制	77
第五节 动态规划法	79
一、由D.P产生的最优路线决策法	79
二、多级决策过程和最优性原理	80
三、根据D.P设计最优控制算法	81
第六节 最大值原理	85
一、Pontryagin的最大值原理	85
二、继电型控制的控制算法	89
三、离散型最大值原理	91
四、最大值原理的计算方法	91
第七节 最优化控制	92
第八节 稳定性理论	95
一、M.A.Liapunov的稳定判定法	95
二、M.A.Liapunov函数	96
第三章 火力发电厂计算机控制	100
第一节 系统硬件	100
一、数字计算机	100
二、电源装置	107
三、生产过程输入输出的种类	108
四、传感器	110
五、接口装置	115
六、安装、配线工程	117
七、试验装置	120
第二节 系统软件	121
一、软件分类	121
二、程序	121
第三节 采用计算机的历史	122
一、在日本采用计算机的历史	122
二、在日本国外采用计算机的历史	122
第四节 一般功能	123
一、基本功能	123
二、任意请求功能	125
三、运转辅助功能	129
第五节 性能计算和运行记录	130
一、数据处理	130
二、计算公式	132
三、运行记录	137
第六节 自动化	139
一、回顾过去和展望未来	139
二、自动起动	140
三、其它的自动化	145
四、顺序控制器	145

五、施工进度	145
六、试验调整	145
第四章 原子能发电站计算机控制	156
第一节 系统硬件	156
一、数字计算机	156
二、电源装置	157
三、生产过程输入输出量的种类	157
四、探测器（传感器）	157
五、接口装置	158
第二节 系统软件	158
第三节 采用计算机的历史	158
第四节 一般功能	159
一、基本功能	159
二、任意请求功能	159
三、运行辅助功能	159
第五节 原子核反应堆的监视计算	159
一、BWR的堆芯监视、堆芯性能计算	159
二、PWR的堆芯监视、堆芯性能计算	162
第六节 原子核反应堆（二次系统）性能计算	163
一、数据处理及计算公式	163
二、运行记录	163
第七节 自动化	165
第五章 电力系统的计算机控制	166
第一节 中央调度所的计算机控制	166
一、计算机控制的内容	166
二、操作系统	181
三、硬件	183
第二节 在变电所及水系控制所中的计算机控制	183
一、变电所的计算机控制	183
二、在水系控制所中的计算机控制	184
三、电力系统中其它方面的计算机控制	185
第六章 钢铁企业中的计算机控制	186
第一节 钢铁生产过程	186
一、生产过程概要	186
二、计算机设置状况	187
第二节 数学模型	190
一、模型的分类	190
二、带钢热连轧精轧机组的设定模型	195
第三节 钢铁企业用DDC	199
一、系统组成	200
二、软件	203
三、目前存在的问题和今后研究的课题	205
第四节 计算机控制系统	206

一、计算机系统的结构形式	206
二、带钢热连轧机计算机系统	208
三、计算机系统的组成	208
第七章 一般工业的计算机控制	214
第一节 计算机控制与自动化	214
第二节 连续生产过程的DDC控制	215
一、DDC控制的概念	215
二、DDC程序包的功能	216
三、生产过程的辨识	219
四、控制方式	220
五、DDC控制特性的评价	226
第三节 造纸机的计算机控制	227
一、抄纸工序概要	227
二、抄纸工序控制中的问题要点	228
三、计算机控制的应用	228
四、定量和水分控制	230
五、过程动态特性的辨识	231
六、定量和水分系统的互不影响控制	233
七、定量和水分的控制程序	234
八、计算机控制的效果	235
九、速差控制	236
第四节 净水厂的计算机控制	237
一、净水厂生产过程概要	238
二、采用计算机控制的目的	239
三、控制用计算机的功能	240
四、投药控制	242
五、过滤池控制	244
六、需要预测控制	245
七、配水池控制	246
八、配水系统控制	246
九、硬件构成	248
第五节 自备变电所和大厦设备的计算机控制	249
一、自备变电所的计算机控制	249
二、大厦设备的计算机控制	253
第八章 铁路的计算机控制	258
第一节 系统概述	259
一、铁路总体系统	259
二、列车运行控制系统	263
三、列车自动运行控制系统	274
四、编组站的自动控制	278
五、电气铁路变电所的计算机控制	281
第二节 系统设计	287
一、评价的标准	287

二、过程的定义	288
三、系统设计	288
第三节 软件	289
一、过程的分析	289
二、通用程序	289
结束语	291
参考文献	293

第一章 控制用电子计算机系统

所谓控制用电子计算机，就是和生产过程直接相联结，对生产过程进行实时控制，并为管理该全部生产过程而收集信息的电子计算机。现将其最重要的基本功能归纳如下：

（1）必须在规定的时刻以前或在规定时间内完成控制对象所要求的工作（在管理用在线实时系统中，由于服务对象是人，即使有较长的时间滞后也不要紧，并不像控制用计算机那样要求严格）。

（2）可靠性 跟管理用的和科学计算用的计算机系统不同，控制用计算机系统是没有备用机的单机系统，实在没有维护和检修的时间。既然目前大多数控制用计算机系统是单机系统，所以用户最为关注的问题是计算机系统的可靠性。

（3）取消通用功能，按专用机进行设计 在采用控制用电子计算机的时候，其设备投资应和由此而获得的工业利润相抵。但从估算投资的角度考虑，所需要的计算机的性能往往只是通用计算机所具有的基本通用功能的一小部分，因此采用价格昂贵的通用计算机很不合算。一般来说，市场上销售的中、小型工业用电子计算机正是针对各种生产过程，取消了通用的冗余功能，增加了一些模块，按专用机来设计的，同时仍保留了提高可靠度所需的冗余功能。

（4）逻辑运算功能要多于算术运算功能 在尽可能减少位数/字和降低成本的同时，要增加逻辑运算功能和测试功能。

关于控制用电子计算机特征的其它细节问题，将在以后各章中逐步详加阐述。

第一节 系统结构

由一台计算机构成的单机系统如图1-1所示。这是一般结构，当然还有其它形式的结构。多路转换器通道的接线除图示方式外，也有很多是安在中央处理机

（CPU）下面的。多路转换器由程序来控制，并且为了使用每次读入一个记录的读入通道来使多台输入输出设备同时工作，在主存贮器与输入输出设备接口处，设有输入输出缓冲器。这样可以提高输入输出处理工作效率。另外还有一种通道，同时只能使一台输入输出设备动作，因而在一次输入输出动作结束以前，不再转入另一个输入输出处理，采取成组处理的方式，称为狭义的多路转换器通道。这种成组方式的输入输出通道比较经济，但将降低 CPU 的工作

效率，因而仅用于单功能机和超小型机。大型计算机进一步扩充了多路转换器通道的功

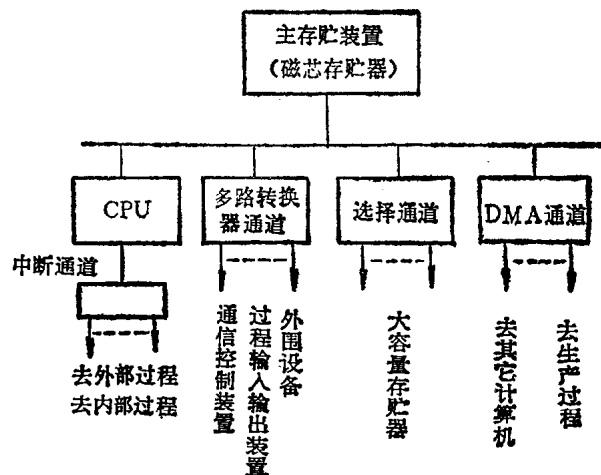


图 1-1 计算机系统的基本结构

能，通道本身的控制不依赖于CPU，而是靠通道控制器进行处理。只有数据传送控制依赖于存贮器和CPU。这是提高CPU工作效率的一种措施。除了成组方式以外，多路转换器通道总是与存贮器直接相连接的。这样就可通过运算装置和输入输出装置的并行工作而提高效率。输入输出动作速度与运算速度之间，有着一位以上数量级之差。为了使之同步，在操作系统中，只要调用输入输出，则将以后的输入输出动作委托给输入输出通道去处理，同时通过调用使主任务进入到等待输入输出通道结束的等待状态。等到输入输出通道处理动作结束，输入输出通道又告知主任务。只要调用如上所述能使任务同步动作地输入输出，那么在中断通道的管理下，在输入输出通道和存贮器之间即可连续不断地进行数据的输入输出，一旦输入输出动作结束，就释放需要这个输入输出结果的程序段。这样做，CPU不仅可以节省出处理输入输出所需要的时间，而且还可以利用这个时间处理其它的任务。外围设备及通信控制装置，都采用这种多重处理方式进行处理。过程输入输出装置，在小系统中，由于存取频率不太高，多半采用成组方式进行处理，但在大型系统中则都采用多重处理方式，与存贮器直接相连接，而与CPU断开。

选择通道是专门用于在主存贮器与输入输出装置之间传送大容量存贮器程序块的通道，其传送速度比多路转换器通道快得多。选择通道的每个通道同时只能处理一台设备的数据，但在大型计算机中，正在试图做到同时控制几台设备，以便进一步提高数据传送速度。控制用计算机，由于经济上的原因，一般来说，主存贮器容量都比较小，程序转出的大容量传送比较频繁，在很多情况下，CPU时间比较闲，只有传送通道忙碌。因此，提高存贮器传送速度是今后要解决的很重要的一个课题。

DMA通道是根据用户的特殊要求，不经过累加器，从外部设备直接将数据读入给主存贮器的通道。

因为上述三个通道和CPU都同时向主存贮器进行存取，所以，必须有对它们实行分时控制的存贮器总线。CPU依从于中断通道，因此要随时把每个通道的瞬时状态变化送入CPU。CPU一旦接受中断通道瞬时状态变化信息就暂时中断用户程序的执行，转入到内部处理用硬软件（即控制硬件用的软件，从这个意义上讲，OS (operating system)也是硬软件。硬软件的有些部分，正在通过微程序设计，向软件硬件化方向发展），对通道进行必要的处理。这个中断通道也可以接受必要的来自外部过程的中断。在这种外部中断情况下，也同样暂时中断程序的执行，由硬件转移到特定地址的程序进行必要的处理。以上所述的是单机系统内部结构的考虑方法，在此基础上，下面进一步叙述多机系统结构。

一、组成多机系统的目的

多数的控制用计算机是单机系统，而发展多机系统结构的目的是：

(1) 在系统的功能超过一台计算机的能力时，将系统的若干功能分成几个组，分配给多台计算机进行分散控制。在系统跨越很大区域或者系统功能阶层化时，计算机系统必然要组成分散多机系统。

(2) 考虑到提高可靠度的冗余化而组成多机系统 提高可靠度的方法有：发现故障用冗余化；后备用或者重新组合系统（故障弱化系统）用冗余化，以及功能分级化用冗余化等。

(3) 为了提高处理效率而组成多机系统 在输入输出功能很多的系统中，一台计算机的CPU不能满足输入输出通道的要求，因此，采用多机化，将两者分离开，以提高系

统的处理效率。

(4) 一般都采用标准计算机, 如小型机, 以降低系统成本。

通常根据实际情况, 综合考虑上述几个目的之后, 决定是否采用多机系统。

二、串联系统

将各自分担一定功能的几台计算机串联连接起来就构成串行传送信息的串联系统。在图1-2的例子中, 由前置计算机负责处理生产过程输入输出和人-机信息交换, 并将其中必要的信息传送给主计算机。例如电力系统的数据交换, 采用的就是这种系统。与阶层控制的情况不同, 虽然从宏观上看是一个功能, 但是, 从计算机性能的角度考虑, 认为必须采用多台计算机的时候, 常常采用这一系统。图1-3的文件处理情况, 也同样, 把一般控制用计算机所不擅长的文件管理委托给专用计算机去处理。在大系统中, 比如, 在处理和来自数据通讯网络的数据时, 有时就采用是由图1-2和图1-3组合而成的三台串联系统。

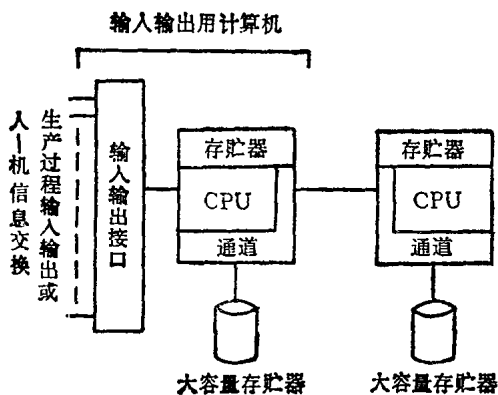


图 1-2 与输入输出用计算机串联连接的系统

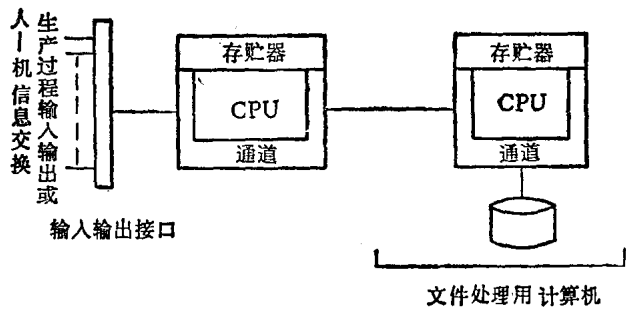


图 1-3 与文件处理用计算机串联连接的系统

三、并联系统 (又称双重系统)

双重系统有双机系统 (dual system) 和双工系统 (duplex system) 两种。前者比后者冗余度大、软件也比较复杂, 所以价钱贵, 仅用于要求可靠度极高的系统。一般使用后者较多。由于近年来计算机硬件RAS技术的发展, 正在进行提高单机系统可靠度的实用化试验, 因此, 很难确定究竟是采用双重系统好, 还是RAS特性好, 这必须从价格和可靠度的角度来综合考虑。图1-4是双工系统的基本形式。在这个系统中, 为了避免一个系统的故障波及到另一个系统, 除了电源公用以外, 两个系统的组成部件之间是完全分离的。通过切换器的位置选择, 在正常情况下, 输入输出与A系统联结, 而B系统或者处于空转状态, 或者只处理次要的后台作业。一旦A系统发生故障, 立即进行作业的再分配, 使B系统继续进行A系统原来的工作。为了使这一转换过程在短时间内很顺利地完, B系统定期的和在必要的时刻, 通过数据链了解A系统内的状态, 当A系统发生故障时, 通过中断通道, 根据此刻了解到的最新状态启动程序。这种方式的优点是软件比较容易配备, 缺点是切换器及其配线使可靠度降低。这种双工系统又可分为如下两种。其一种是, 当A系统发生故障时, A系统的全部作业由B系统承担, 叫做全备用 (full back-up) 系统; 另一种是通常B系统也做某些工作, 当A系统发生故障时, 通过作业的再分配, 只把

其中重要的作业，由B系统承担，叫做局部备用（partial back-up）系统。前者比后者价钱贵。也有时候前者叫做安全系统（fail-safe system），后者叫做故障弱化系统（fail soft system）。但是，故障弱化名称使用得很广泛。在技术性很强的多重系统中，主要研究的对象就是这一问题。

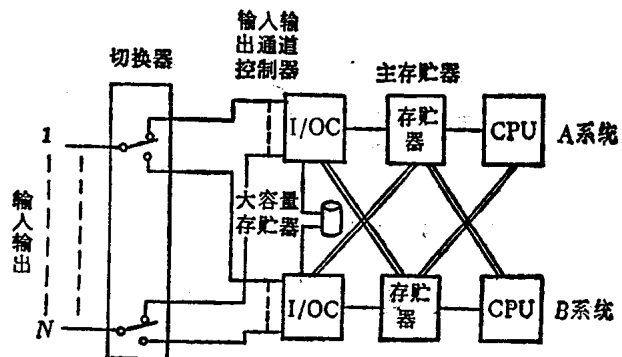


图 1-4 双工系统（图中双线联结表示尚处于研究阶段）

以上叙述的是A系统与B系统之间的切换。但是也可以把各系统分成几个部分，当某一部分发生故障时，就把这一部分切离，重新组合系统。这就是所谓结构控制（structural control）系统技术的一种方法，这种方法适用于比一般的双工系统要求更高的系统，例如，多处理机系统。在图1-4中用双线联结的，就是这种多处理机系统的一种方式。这种方式的故障检测及切换技术非常困难，所以至今还没有完全定型。

双工方式的主要问题是想要办法设计制造出良好的切换器，并且要权衡系统价格和所希望达到的可靠度。请参看图1-5与图1-6。它们虽然都是双工方式，但是已分别根据其应用条件组成为不同形式的双工系统。与图1-4相对比，这种方式的优缺点，如表1-1所示。

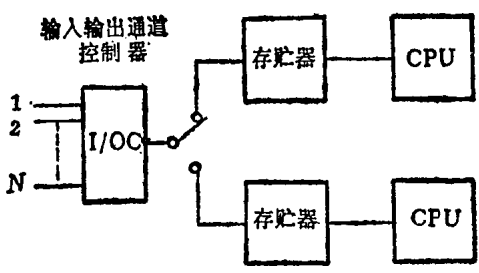


图 1-5 变形双工系统A

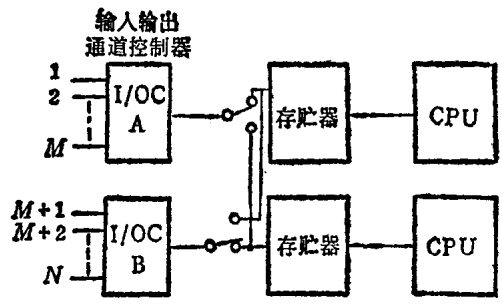


图 1-6 变形双工系统B

图1-6所示为双工系统B，其中，I/OC-A和I/OC-B的输入输出在重要程度上存在着差别，当系统主体出现异常时，I/OC-A仍能处理其输入输出，因此 I/OC-B 输入输出的优先级必须低于I/OC-A的输入输出。但是，当I/OC本身出现故障时，对于那个通道的输入输出，不能进行处理。因而在系统B中，为了提高输入输出可靠度，把I/O分为两个通道（不言而喻，电源也分为两个）。这是系统A与系统B的主要区别。像系统A与B那样，可以由两台计算机切换使用一个I/O通道的方式，称为交叉连接方式。图1-4所示方式，可

靠度很高，但缺点是切换器的接点多，比较复杂。双重系统的另一种方式是双机系统。其基本形式如图 1-7所示。双机系统中，两个计算机系统的各部件之间定期进行信息校对，只有当内容相同时，才继续往下进行。因此，在双机系统中，还存在着不能辨别校对的哪一方是正确的，哪一方是错误的的问题，所以有时也采用三机系统。这类系统在没有大容量存贮器时，比较容易掌握校对计时，但是，在拥有大容量存贮器的情况下，包括大容量存贮器旋转相位在内，要使它们准确同步，是很困难的，结果必然是软件变得很复杂，这是它的缺点。输入输出设备也存在这个问题。

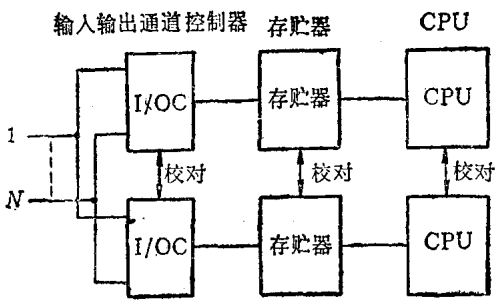


图 1-7 双机系统

表 1-1 双工方式的优缺点比较表

双工方式	价 格	可靠度比	切换器的复杂程度	注：PI/O和CPU的可靠度比分别为1
图 1-4	高	1	复 杂	适用于大型信息处理
图 1-5	低	0.67	最简单	最适合于工业控制
图 1-6	中	0.40	稍复杂	用于供电控制输入数据传送通道等等

四、多处理机系统

图1-8所示乃是多处理机系统的一般结构。这种系统目前算是一种大型的高级系统，可用于中央供电控制系统，但是，大型通用计算机，通过内部结构即可实现有关功能。使用多处理机的优点及其目的有如下几点：

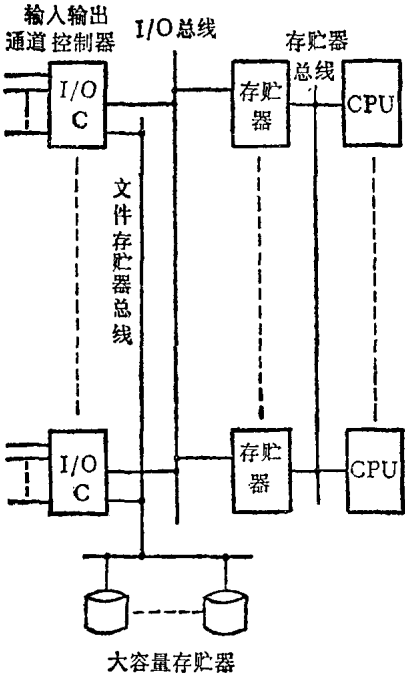


图 1-8 多处理机系统

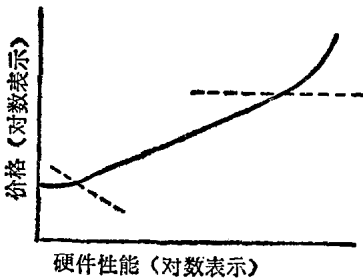


图 1-9 Grosch的性能价格比曲线（图中虚线表示Grosch法则适用范围的上下极限值）

(1) 在计算机处理工作量大量增加时，如果要想继续增加单台计算机的容量，就会大大降低其性能价格比。这也叫做Grosch法则，图1-9所示为其定性的特性曲线。因此，在