

联机实时系统的设计

联机实时系统的设计

〔日〕 大野 豊 编著

杨生栋 译

王启祥 陈世福 校

TP4

国防工业出版社

联机实时系统的设计

〔日〕大野 豊 编著

杨生栋 译

王启祥 陈世福 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系根据日本大野 豊教授所编著的、1976 年第十次再版的《联机实时系统的设计》原书译出。

全书共分两篇十三章。前四章是基础篇，后九章是设计篇。首先概略地介绍了联机实时系统的意义与应用、功能与结构、运行情况与人-机对话等。接着以日本国营铁路系统为例，逐一介绍了联机实时系统的设计思想、系统的排队问题、终端设备与网络设计、文件设计、中央处理装置的处理方式与系统控制机构，以及对系统结构、处理能力、可靠性等的评价。最后介绍了系统的实施方案。书末附有几个很有价值的附录。

本书可供从事计算机事业的科研、设计人员、使用与维护人员、管理干部，以及大专院校师生参考。

オンライン・リアルタイム・システムの設計

大野 豊 编著

産 業 図 書 1976

*

联机实时系统的设计

〔日〕大野 豊 编著

杨生栋 译

王启祥 陈世福 校

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/16$ 印张 $13\frac{1}{2}$ 308 千字

1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷 印数：0,001—4,600册

统一书号：15034·2303 定价：1.45元

前 言

随着社会活动的扩大和复杂化,越来越需要迅速地综合处理大量信息。对于用户,也希望尽量经济地获得充分而必要的信息。这就导致了计算机网络的产生和发展。计算机网络是由脱机系统和联机系统发展起来的。所谓联机系统就是将通信线路直接联到计算机上,数据直接送到计算机上进行计算,计算机与远程终端自动应答校验。联机系统已发展到了建立地区性分站的阶段,在分站中设置线路集中器,集中器将各低速线路传来的数据集中起来,然后通过高速线路传输给中央处理机。

在国外,计算机网络早已实现,并应用比较广泛。在我国联机系统也仅处于研制初期。为了有利于促进我国计算机事业的发展,特将此书翻译出版。

由日本京都大学大野 豊教授编著的《联机实时系统的设计》一书自 1970 年第一版发行以来,至 1976 年已再版十次。本书就是根据 1976 年版译出的。

全书分基础篇(一~四章)和设计篇(五~十三章)两部分。本书对联机实时系统的全貌作了深入浅出的介绍。书中列举了联机实时系统的例证,运用排队论和概率过程对系统的可靠性和处理效率作了探讨,对系统设计的优化提供了理论依据。本书可供从事计算机事业的科研设计人员、使用与维护人员、管理干部、大专院校师生参考。

本书由四机部一所杨生栋翻译,由南京大学计算机科学系王启祥、陈世福审校。在译校过程中,对原书中的一些错误作了更正。由于水平所限,故仍可能有不少错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一部分 基础篇

第一章 概论	1
1.1 联机实时系统的概念	1
1.2 实时系统的意义	2
1.3 应用范围与应用实例	3
1.4 实时系统要求的条件	7
1.5 系统研制的有关问题	9
1.5.1 实时系统的难点	9
1.5.2 推进系统计划方面的问题	11
1.5.3 各种技术性问题	14
第二章 实时系统的功能与结构	15
2.1 系统负荷的条件	15
2.1.1 信息的输入	15
2.1.2 中心的处理	17
2.1.3 信息的输出	20
2.2 终端设备	20
2.2.1 键盘打印机	20
2.2.2 阴极射线管 (CRT) 显示器	21
2.2.3 标记阅读终端设备	22
2.2.4 按钮式终端设备	24
2.3 通信线路	24
2.3.1 通信线路的结构	24
2.3.2 通信速度和通信方式	25
2.3.3 传输控制	26
2.3.4 日本通信线路的现状	28
2.4 中央装置	29
2.4.1 中央装置的功能	29
2.4.2 中央装置的组成	30
第三章 系统运行	36
3.1 处理流程	36
3.2 程序	37
3.2.1 管理程序	37
3.2.2 业务程序	37
3.2.3 支援程序	38
3.3 内存分配和管理	38
3.3.1 内存动态分配	38
3.3.2 报文访问块	39
3.3.3 程序再定位	39

3.3.4 内存保护	40
3.4 二维地址方式	40
3.5 处理的调度	42
3.5.1 系统内的排队	42
3.5.2 处理的调度	43
3.5.3 中断处理	44
3.6 输入/输出缓冲	45
3.6.1 专用缓冲区	45
3.6.2 动态缓冲区	45
第四章 人-机会话	47
4.1 分时系统	47
4.2 分时系统的技术	48
4.3 人-机会话	49
4.4 图象系统	52
4.5 用计算机进行图形显示	53
4.6 向计算机输入图形	54
4.7 图形处理的应用	55

第二部分 设计篇

第五章 系统设计概述	57
5.1 掌握现有系统的动态	57
5.2 确定系统功能的条件	59
5.3 系统的总体设计	63
5.4 系统结构的评价与确定	66
5.4.1 系统处理能力的估算与评价	66
5.4.2 系统可靠性评价	68
5.5 系统设计结果概要	69
第六章 系统的排队问题	70
6.1 排队问题的类型	71
6.2 输入信息的时间分布	72
6.3 处理时间的分布	72
6.4 基本排队问题	75
6.4.1 基础方程式及其求解	75
6.4.2 排队数的均值及其方差	76
6.4.3 等待时间	77
6.4.4 处理窗口的工作效率	78
6.4.5 允许排队长度有限时的求解	78
6.5 一般单一处理机构模型	78
6.5.1 泊松输入任意处理时间的分布	79
6.5.2 一定时间间隔输入的指数分布处理	80
6.5.3 具有优先级的排队	80
6.5.4 “请求”发生源有限的情形	81
6.6 多窗口问题	82
6.6.1 有限的多窗口问题	82
第七章 终端设备与网络设计	84

7.1 设计上应考虑的事项	84
7.1.1 信息产生概率	84
7.1.2 报文的种类	84
7.1.3 线路负荷与应答时间	84
7.2 终端设备	85
7.3 通信网络的设计	89
7.3.1 通信线路的连接方式	89
7.3.2 通信网络的设计步骤	90
7.3.3 最佳通信网络的构成方法	91
7.3.4 计算机中心的位置	92
第八章 文件设计	93
8.1 实时文件的条件与设计步骤	93
8.1.1 对文件的要求	93
8.1.2 文件设计的步骤	94
8.2 文件设备	95
8.2.1 存取时间	95
8.2.2 文件设备的特性与设备选择	96
8.3 文件结构	98
8.3.1 文件结构	98
8.3.2 文件目录	99
8.3.3 记录格式与文件编制	100
8.3.4 数据结构	102
8.4 记录的寻址方式	103
8.4.1 搜索	103
8.4.2 关键字转换	104
8.4.3 溢出的处理	107
8.4.4 索引表与“树”	110
8.5 文件处理时间的评价	113
8.5.1 文件系统的排队模型	113
8.5.2 文件应答时间的评价	114
8.6 文件处理的有关措施	117
8.6.1 记录的压缩与分块	117
8.6.2 记录和表格的多重化	117
8.6.3 文件处理的调度	118
8.6.4 利用记录的有关知识	118
8.6.5 文件访问率的改善	119
8.6.6 通道利用率的改善	119
第九章 处理方式与系统控制机构	120
(中央处理装置之一)	120
9.1 确定中央装置系统结构的顺序	120
9.2 事务及其处理	121
9.3 OLRT程序的特点	122
9.4 程序的功能与条件	124
9.4.1 管理程序的功能与条件	124
9.4.2 业务程序的条件	126
9.5 程序间的相互关系	127

9.5.1 主调度程序	127
9.5.2 管理程序与业务程序的通信	128
9.5.3 宏指令	129
9.6 关于 CPU 与通道的条件	130
9.6.1 CPU 的条件	130
9.6.2 通道的条件	130
第十章 系统结构和处理能力的评价	
(中央处理装置之二)	132
10.1 机种的选型与系统结构的分析	132
10.2 程序的处理时间与所需内存的估算	133
10.3 系统的定时	135
10.4 内存所需的容量及分配	136
10.4.1 内存的分配	136
10.4.2 I/O 缓冲区的估算	137
10.5 CPU 的利用率	138
10.6 通道干预的估算	138
10.7 模拟	140
10.7.1 处理能力的评价与模拟	140
10.7.2 模拟模型	140
10.7.3 模拟语言	141
10.7.4 模拟实例	144
10.7.5 模拟方法的有关注意事项	147
第十一章 系统故障措施	149
11.1 系统的故障动作及其影响	149
11.2 后备系统的设计	149
11.3 终端的后备	152
11.4 中央装置的后备	152
11.5 文件的后备	154
第十二章 系统的可靠性	156
12.1 可靠性的定义与可靠性函数	156
12.2 系统可靠性问题的形式与评价标准	157
12.3 可靠性评价	159
12.3.1 不可维系统的情形	160
12.3.2 可维系统的情形	163
12.4 可靠性计算的实例	168
12.4.1 系统的状态转移	168
12.4.2 状态概率与系统利用率	169
12.5 系统的有效性评价	172
12.5.1 系统利益	174
12.5.2 有效性在系统可靠性评价上的应用	177
12.5.3 用模拟法模拟	177
12.6 有效性在系统设计上的应用	178
12.6.1 损失密度函数	178
12.6.2 单一系统的情形	179
12.6.3 并行系统与备机系统的比较	180

第十三章 系统的实施计划	183
13.1 实施阶段的工作	183
13.2 拟定系统工程期和费用计划	183
13.3 系统计划实施的保证	185
13.3.1 支援程序	185
13.3.2 程序测试	186
13.3.3 系统的换型与运转的保全性	188
13.3.4 程序的规格与程序文件编制的格式	190
13.4 新系统价值的评价	191
13.5 系统实施阶段的管理要点	192

附 录

附录 A 马尔科夫过程	194
A.1 离散的马尔科夫过程 (马尔科夫链)	194
A.2 连续马尔科夫过程	198
A.3 泊松流	201
附录 B 备机系统及并行系统的系统损失	203
B.1 备机系统	203
B.2 并行/备机共用系统	204
附录 C 利用生成函数法解单一窗口问题	205
C.1 生成函数	205
C.2 一般处理时间分布的分析	205
参考文献	207

第一部分 基 础 篇

第一章 概 论

1.1 联机实时系统●的概念

随着电子计算机的广泛应用,最近实时处理系统正在剧增。以往,实时系统曾被认为是一种计算机的特殊应用系统,但由于电子计算机技术的发展及经验的积累,可以说,已经将实时系统变为普通的系统了。

那么,什么叫作实时系统?为什么它能够得到广泛的应用?尽管实时系统的定义还不一定很确切,但大体上可做如下定义:

实时系统是“接收数据、加工处理,并将处理结果及时反馈给该环境(environment),以便于环境能够迅速而充分地发挥其功能的一种环境控制系统”。此定义,可以说是将实时系统的反馈特性作为显著特点而提出的。不过,严格说来,仅仅得出这种定义,仍存在许多不足之处。譬如,承担工资计算的普通数据处理系统,是对从业人员一个月的劳动报酬,在录用期间内进行处理。按照上面的定义,这种系统可看作实时处理。但是,一般常识上不认为是实时处理,因此,必须把这种处理从实时处理范围中除开而考虑别的特性,归入别的范围。

于是,人们想到,别的特性是否会成批处理。一个普通的以工资计算为主的数据处理系统,可将从业人员的劳动时间等方面的信息贮存一个月,并输入卡片,进行成批处理。与此相同,在日本国营铁路等订票系统中,若旅客在窗口处提出订票要求,则这个信息立即被送入计算机。于是计算机对有无座位进行查找处理,除向窗口处迅速给予应答外,同时还进行文件更新。由此可见,可以根据究竟是把信息贮存到某一期间后再进行处理,还是一旦有处理要求就即时进行处理,以此来区别是否为实时系统。

但遗憾的是,这种判断会误将某种实时系统划为非实时系统。譬如,空军半自动地面防空系统〔赛其(SAGE, Semiautomatic Ground Enviroment)〕系统,虽是在进行成批处理,但此系统仍被认为是具有实时性的。该系统将雷达基地、地面监视站及其它信息源送来的输入信息贮存在高速磁鼓上,每隔数秒钟后再将磁鼓上的信息转移到主存并进行处理。由于这种处理方式是成批处理的特殊形式,因此,实际上是成批处理。

这样一来,就会引起更大的混乱。这就是为什么许多非实时系统,虽然能进行实时地收集数据,但其处理工作,却一直要延续到数据成批贮存完为止方可进行。这类系统是借助于信息产生现场的终端设备,将数据输入,再由计算中心接收,最后变为穿孔卡片等形式。这些卡片是否立即由计算机处理,取决于所要求的处理速度的快慢与否。对于要求处

● 系英文“On-Line Real-Time System”一词,书中常取字头字母略称“OLRT”系统。

理速度较快的系统，往往将接收的数据直接存入磁盘或磁鼓上。因此，这类系统也可称作“实时系统”。

实际上，一个实时系统从处理某项事务到处理结束所用的时间，是研究实时系统的重点。极言之，一个工资计算系统，从信息输入到给予应答，这之间需要一个月的时间。而“赛其”系统仅需几秒钟。因此，衡量实时系统最有效标准，应该是一个系统能否满足这种应答的实时性，而不应该是该系统究竟能否进行成批处理。

然而，究竟什么情况才是“实时”，也就是说，从输入到应答的时间到底有多长才称为“实时”，这是一种难以确定的概念，倒不如凭借常识来判断。比如，强行规定：假设某系统从信息输入至得出应答结果的周期为几秒钟以下（有时为几分钟），则称该系统为实时系统。这样一来，为了跟现存的系统相区别，就得靠常识来判断其实时性。

“实时系统”，往往都要在其前面附加“联机”一词，即“联机实时系统”，这样就可以避免实时系统含义的晦涩，以强调系统的联机性。人们对“联机”一词的定义的理解各有不同。根据H. D. 赫斯基（H. D. Huskey）修改过的关于“联机”的定义，可解释为：“联机”是计算机接收、处理并发送信息的一种形式，也是一种对人或机器的反应及具有接口的计算机的应用方式。因此，所谓“联机实时系统”系指终端等设备直接与计算机相连，或经传输系统跟计算机相连，而计算机则对终端要求给予反应的一种实时系统。这里重要的是“反应”一词的意义。计算机处理的主导作用在于，它通过终端等设备和“环境”相连。尤其应强调的是：以人为主体，计算机操作员与机器（人-机）之间的联系。

1.2 实时系统的意义

在进行系统控制或管理时，如果分析一下信息的流程或以信息处理为中心的业务，那么便可以看出，完成业务处理大致上可分为四个阶段，即：数据的测定或数据收集；数据的处理及报告；由处理的数据进行判断和作出决定；执行所决定的作业。这些阶段是循环而又相互关联的。对于与最后阶段（执行作业）有关的某些数据，要在最初阶段进行测定。因此，当系统中使用计算机时，如果通过分析，指出改善信息处理的各个阶段的途径，那么，实时系统的意义将会更明显。

计算机系统的使用方式经历了若干阶段。诸如：非实时成批处理方式的计算机系统；进而附加数据收集功能的自动化系统；按照实时方式自动地进行数据收集和数据处理；在实时系统中，考虑了人-机联系，而采用了显示器等的系统（在过程控制系统中，还要进一步实现判断和执行的自动化）。因此，由上述的信息处理业务阶段来看，计算机的使用方式已有了不同程度的改善。如图 1.1 所示。

在图 1.1 中，比较了计算机不同的处理方式与全部采用人工处理方式所需时间的变化。首先，在采用普通的计算机进行数据收集的阶段中，为了向计算机输入数据，由于要附加卡片数据穿孔的工作，因此花费的时间较多。但是，由于计算机能够以极快的速度进行

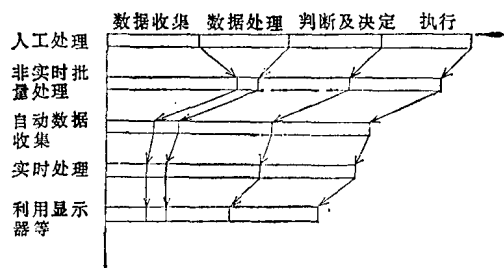


图1.1 各种处理方式的比较

数据处理，所以可以缩短整个业务的处理时间。换言之，在相同的时间里，计算机系统可比人工完成更多的工作。

在自动数据收集系统中，数据的收集及其向计算机输入数据的过程，都是自动进行的。因此，其处理时间，可以显著地缩短。在许多情况下，它可以随着业务的执行，自动地进行数据收集和向计算机输入信息，却不需要人工对已贮存的数据进行穿孔。这样，处理时间就会更进一步缩短，从而增大了系统的处理能力。

在实时系统中，数据收集和数据处理等一系列作业是同时进行的。这样，从本质上来看，可以认为，其处理时间也将会减少。而且，在数据输入的时候，就可立即进行处理。同时，检错和纠错也较容易。因此，它可以提高贮存文件的数据质量。其次，在非实时成批处理系统中，由于数据的收集时间与提出处理报告的时间，存在着一定的时间差，所以，在这一段时间里，对于供判断和作出决定的报告，即使发生重要状态的变化，也要推迟检测，从而无法作出准确判断。然而，对于实时系统，由于它通常能处理最新的数据，并贮存在文件上，因此，供判断的数据就不存在着时间差，从而能够正确地实现信息反馈处理。

另外，在实时系统中，只将判断和作出决定所需的数据输出即可，不一定按照非实时成批处理那样去输出数据。但是，由于根据实际情况作了改进，在数据处理时便可将所需的数据输出，因此，其结果是输出的数据量大大减少，从而缩短了整个系统所需的处理时间。此外，在实时系统中，由于附加了显示器等供人机联系的装置，因此可以使判断和作出决定的过程合理化，从而增大了系统的处理能力。

上述的许多优点，根据控制对象的系统和应用计算机系统的情况，其效果也各不相同。因此，对于定量上的评价，不能一概而论。但是，如果要充分说明使用计算机系统的优越性，还必须在技术和经济方面都有所依据。最近，出现了下述一些情况：开展了对实时系统所需计算机的功能研究；随机存取文件也达到了实用化；还研制了数据传输有关的各种设备，其价格也在日趋便宜。因此，实时系统正在逐步被应用到广泛的系统中去。

1.3 应用范围与应用实例

为了更进一步阐明联机实时系统的概念，现列举联机实时系统的应用领域和应用实例。

早在电子计算机研制的初期，曾经尝试过“联机”和“实时”性的应用。当时，作为极特殊的试验，没有采用通用计算机，而采用了特殊的专用设备，例如，1953年实用的快速计数(Speed Tally)系统〔芝加哥约翰·普利茵(John Plain)公司〕。在这种系统中，在特殊的磁鼓处理设备连接着10组键盘。远程操作员只要用键盘打入目录号和订货量，该数据就直接由中央处理机处理，并被贮存下来。除了上述系统之外，还有很多类似的系统。其中，有代表性的系统是美国航空公司于1952年采用的Magnetronic Reservisor系统。该系统是Teleregister公司研制的飞机订票系统。该系统将特殊的磁鼓处理设备放于纽约，经由专用线路，将各地售票处置放的一百个终端设备与计算中心的计算机相连。在终端设备中，如果插入所要乘坐的航班的“去站”代码板，并用按钮指定座位数和日期，那么，计算中心就立即接收到该信息，预约所需的座位，并将其应答结果送回给终端。该系统每天可以预约十天之内的1000次航班的座位。

由于在航空公司该系统已成功地投入使用，故铁路也采用了相同的系统。日本还研制

了 MARS-1 国营铁路订票系统和近代钢铁系统，这两套系统都是在 1960 年投入使用的。

由于这些系统还采用了特殊处理设备，故不能称为真正的 OLRT 系统。1958 年东方航空公司投入使用的系统，采用了通用尤尼瓦克 (UNIVAC) 文件计算机，它不仅能进行预约、查询的联机处理，而且还能够进行后台的统计处理和制作报表。这是制作 OLRT 系统的重要步骤。随后，又有了进一步的发展，并且已达到能研制塞泊 (SABRE) 大规模系统的阶段。

塞泊系统，系美国航空公司的综合性系统。它取代了前述的 Magnetronic Reservisor 系统。该系统不仅可以承担座位预约，而且还可从事诸如预约信息、航空信息等各种信息的服务业务。除此之外，还能造出经营管理方面的报表。此系统于 1958 年开始研究，1963 年开始营业。它配备了 1300 台终端设备。设计时预计，每天能够处理 85000 份电报。

作为民用的塞泊系统，是划时代的联机实时系统。在军事、公共事业、政府机关里，在这以前，只是在一个方面进行研制，即只研制指挥控制系统。此后，防空系统、宇宙开发系统等，已作为联机实时系统投入使用。其典型系统是美国空军半自动化防空的赛其系统。这套系统于 1958 年开始运转。它与雷达网、空中侦察机和巡洋舰配合起来，能够迅速地搜索敌机目标、指挥歼击机、发射导弹。防空地带分为若干区，在各区的指挥中心配置着大型计算机，并与雷达网和通信系统相连，跟其它区的指挥中心或别的监视系统、兵站或气象中心进行通信联系。指挥中心有 100 多名勤务人员，利用控制台上的阴极射线管 (CRT) 显示器、光枪 (Light gun)，它是一种与光笔相似的工具、键盘和开关，可以显示出地图、飞机轨道和迎击预测地点等，同时输入指挥命令。该计算机是美国国际商业机器公司 (IBM) 设计的电子管式的 FSQ-7 型，其内存容量为 70K 字 (存取周期为 6 微秒)。据说，该系统具备实时控制系统、实时通信系统和实时管理信息系统的优点。

赛其系统的设计思想及技术，对后来各应用领域带来了极大的影响。它不仅为 OLRT 系统用于军事，而且也为其用于国民经济各部门奠定了基础。尤其是，从具有 CRT 显示器和光笔的控制台技术，已经发展到普通的图象显示系统。

在军用系统方面，继赛其系统之后，又研制了以监视和武器控制为主要功能的计算机控制系统。另一方面，还研制了许多资源管理、计划和兵站管理的系统，从而促进了民用管理信息系统 (MIS) 的发展。

人造卫星之类的跟踪和飞行控制系统，是非军事性的，但对 OLRT 系统的发展作出了较大的贡献。例如，“水星”计划的实时系统，为了发射载人卫星，将其送入轨道，并使其能安全地行驶和返回地面，就要将全球的雷达网跟若干计算机相连，并且联上 CRT 显示器和绘图机，这样才能保证完成下述功能：使其发出命令，以跟踪宇宙飞船；检查其运行轨道，以使其准确发射。在这一过程中，系统中的某台计算机可以检测出：若要返回地面，其反向推动火箭应在何处点火。这时，它可以在显示器上显示出来。这是一种半自动化系统。如果没有实时计算机，上述任务就无法完成。

1952 年起开始研制出以工厂中各种工艺过程和生产流水线控制为目标的计算机控制系统。但是，由于计算机的可靠性和经济性存在问题，故未能很好地投入使用。直到六十年代，才逐步达到实用化，并且设计出综合性系统。这种综合系统，不仅能进行过程控制，而且能综合地进行工厂及设备管理。其工艺过程控制可以靠低档的子系统来完成。

日本正式的 OLRT 系统,是继国营铁路 MARS-1 系统之后而研制的 MARS-101 订票系统,它是一个有代表性的系统。该系统于 1960 年开始研制,1963 年起投入使用。目前,它与 MARS-102、103 一起,能够完成一个星期内的 507 次列车的坐席 (206900 个坐位) 预约的实时处理。其终端设备达 852 台。由于该系统是多重并行处理的多机系统,因此,特地采用了新研制的 HITAC3030 型计算机,它是当时最高水平的系统。

上述若干历史性典型系统的研制成功,使联机实时系统广泛地应用于各个领域。目前,不仅在国外,即使在日本,各团体、企业,也都在拟定计划,投入使用。1961 年,在美国麻省理工学院,当 MAC 计划的分时系统 (TSS) 达到实用化之后,其 OLRT 系统,不仅能实现某种特定目的,而且能将其应用到一般的计算中心。最近, TSS 系统正在迅速发展,首先是以大学研究为中心,而后是在研究所、企业中,都已较多地应用了分时系统。可以说,目前 OLRT 系统已成为电子计算机应用方式的主流。总之,上述各方面的应用实例,大致可分类如下 (其中,大部分是任意分类的。虽然不很准确,但可了解整个 OLRT 系统的全貌):

1. 实时控制系统 (real-time control systems)

这是一种接收由环境发来的数据,并进行处理,再将处理结果完整而迅速地反馈给该环境,从而控制该环境工作的系统。其含义与前述的实时系统定义相同。图 1.2 为实时控制系统示例。

此种系统又可划分为过程控制系统和操作控制系统两类。前者有诸如炼油和化学反应过程的控制、水源和电力网的控制、通信线路的切换、武器的控制、火箭和导弹的地面监视等。总之,在给定的时间内,该类系统的计算机都能够自动地完成人工难以进行的操作。这些过程大部分都是用数学模型来描述其特性的,然后,通过计算机进行数学计算,以实现控制过程的最优化和准确制导。而后者,诸如空中交通管制、人造卫星的地面控制、订票、银行窗口终端业务、证券交易业务等公共系统和面向群众的企业系统比较多。在这些系统中,并不是自动进行反馈处理的,在环境与计算机之间,还需要进行人工干预,计算机只用于改善人工操作。因此,操作员和计算机之间必须进行通信联系。对于操作人员来说,希望计算机的应答时间恰如其分。

2. 指挥和管理信息系统 (command and management information system)

这类系统与上述系统不同,它不利用计算机进行控制,而只利用计算机为指挥员和管理人员提供判断信息。用户由终端设备发出查询,计算机则对贮存的大量数据进行分析,并给用户作出应答。数据输入的长度、格式及次数,可以是多种多样的,它们不仅不受限制,而且还可以扩展。系统的规格也存在着不大明确的部分,它们往往是在系统投入使用之后才明确的。该实时系统的特点是,除了向终端设备作出应答的时间受到限制之外,其他方面是不严格的。它在通用性上作了某种程度的牺牲。为了要预先限定若干个主题,构成一个好的数据库[●],则对查询形式和内容等作了限定。这种系统称为指挥系统,或管理信息系统 (诸如军队的资源管理、计划、兵站等的指挥系

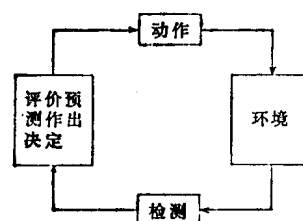


图 1.2 实时控制系统

● 数据库是指相互关联的不重复的某数据项目的集合。可以使用一个或几个数据库进行处理。

统, 企业中的管理信息系统, 等等)。图 1.3 为其原理图。这类系统可以认为是若干处理功能的集合, 用户对任一部分功能均可使用。但是超出上述处理功能之外, 即使有要求, 该系统也不予接受。

为改善视在的应答时间, 采用了会话方式。因此, 常常使用 CRT 显示器 (详见后述)。会话方式的特殊实例为“计算机辅助教学”(CAI) 系统。学生可利用带有显示器的

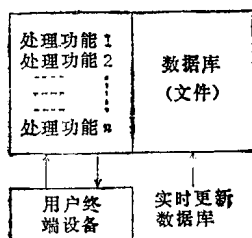


图 1.3 指挥和管理信息系统

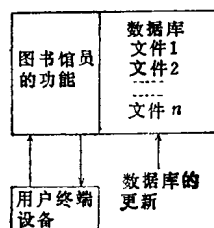


图 1.4 信息贮存检索系统

终端设备跟计算机会话, 计算机则能配合学生的学习进度进行辅导。

今后期望发展的是信息贮存与检索 (ISR) 系统。对于 ISR 系统, 希望有较快的响应时间, 远程用户能随时利用, 可以联机编辑和更新其规模庞大的数据库。实时系统已逐渐为人们所需求。如图 1.4 所示的 ISR 系统是作过一些明确定义的处理功能的集合。可以看作是一个有出色的图书管理员的规模很大的图书馆。因此, 查询是以接近于自然语言的形式进行的, 其回答的范围亦可以比较广泛。

3. 分时系统 (TSS, time-sharing system)

通常, 对于在计算中心采用的“闭关机房”的成批处理方式, 从提出计算要求到送回处理结果的所谓“解题时间”, 需要几个小时乃至几天。从计算机的角度来看, 这种方式的效率极高。这样, 使用大型且价格昂贵的计算机是经济的。但另一方面, 从用户角度来看, 则不能够随心所欲地使用计算机。当进行程序调试或边维护计算机边跟计算机频繁地进行信息交换时, 这种“解题时间”的效率极差, 从而不能充分地发挥人和计算机的效能。在 TSS 系统中, 是把许多终端设备跟计算机相连的, 这样, 许多用户便可同时共享计算机。图 1.5 所示的就是这种系统。对于连接中的用户来说, 由于计算机的管理程序将机器的处理时间细分为几百毫秒级的时间片 (time slice), 因此每个用户都感到计算机一直在为他服务。这样, 各个用户不仅能够随时自由地使用计算机, 而且可共享大型计算机的处理能力、大容量文件系统和各种程序。

然而, TSS 还有许多应探讨的项目, 例如: 管理程序在各时间片里的执行、程序的调出、调入等, 要花费相当多的计算机处理时间。另外, 管理程序占有较多的内存单元, 从而使整个系统的效率大幅度地降低。但可以改善人-机接口, 研制

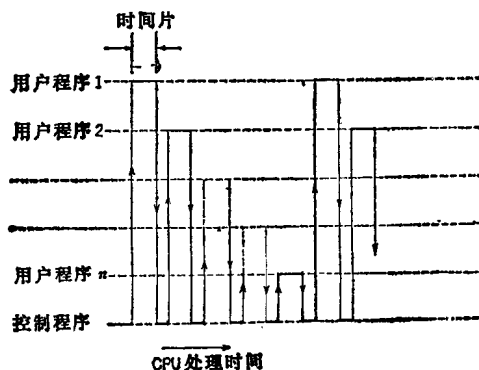


图 1.5 分时系统

出联机解题方法,从而可以较大幅度地改善人-机的解题能力。TSS 不仅能将计算机作为台式计算机使用,而且能有效地应用于诸如设计作业、程序编制和程序调试等需要检查错误的过程。目前,日趋实现的一种公用计算机,通常可以共享处理能力和数据库。它不仅能够进行科学技术的数学计算,而且能够担负企业的事务和管理的信息处理、天气预报等各种信息的服务业务。

4. 远程成批处理系统 (remote-batch system)

TSS 中的终端会话系统,不仅在终端的输入/输出量方面存在着局限性,而且计算机的效率也差。为了改善这种情况,采用远程成批处理系统,以便缩短成批处理的应答时间。它是在终端设置小型计算机,各终端编制相应的成批处理程序,通过高速传输线路将信息送到中心计算机。在中心计算机高速地处理成批业务后,再把结果送回终端。跟普通的成批处理相比,不仅中心计算机不很复杂,而且终端的小型计算机价格也较便宜。因此,远程成批处理系统正在各方面不断出现。

5. 数据采集系统 (data-acquisition system)

这是一种从环境中实时地取得数据,但不实时地输出应答结果的系统。其设计思想与控制系统相同。在大多数情况下,数据采集系统达到了控制系统的第一阶段,如生产过程和设备的数据记录系统、生物医学方面的测量系统、气象和地震观测系统等。总之,这些系统都能在产生许多相互关联的数据时,对其进行测定、收集、编辑和记录,然后再进行分析。图 1.6 所示为数据采集系统方块图。

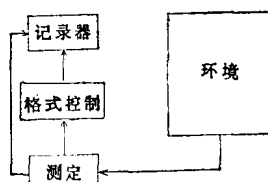


图 1.6 数据采集系统

1.4 实时系统要求的条件

如上所述,实时系统的概念包含着很广的范围。事实上,它涉及到许多应用领域。所以,系统要求的条件则随系统而异。不过,下述的几项可以认为是实时系统一般所要求的条件。当然,这些要求并非限于所有的实时系统。

1. 应答时间

从用户发出处理的事件起到一系列必要的处理完毕,所允许的时间非常短。系统从发出处理要求起到给出某些应答信号为止,它所经历的时间通常称为应答时间 (response time)。它随用途而异。如在处理雷达送来的数据的防空系统中,其应答时间不允许超过 1 毫秒;在用于研究工作的分时系统中,其应答时间希望不超过 4 或 5 秒。

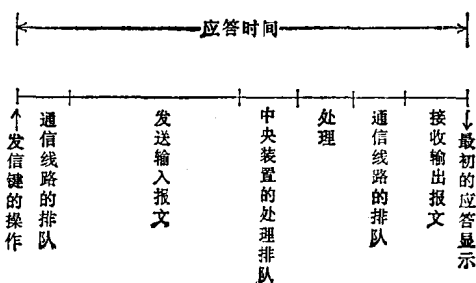


图 1.7 应答时间示例

订票系统和银行存款系统等在联机查询时的应答时间 (如图 1.7 所示),系指从按下发信键(终端设备输入信息)起至回答灯开始亮止

所经过的时间。根据人们的惯例,等待终端操作时间不应当超过 5 秒钟。报文 (message) 的收发时间占了应答时间的相当比例。这样,查询时,只要确定了输入电报的长度,就能够确定必需的通信速度,从而也就能获得所要求的应答时间。

由于采用了通信线路的集中器方式和定时轮询方式 (即按次序接收由终端送来的电报),因此提高了线路效率和经济性。实践证明,在允许有较长应答时间的系统中,可采用这种方式。

在中央装置内部处理过程中,由于对若干个作业的输入采用了多重处理方式,因此可提高处理效率。不过,在这种场合下,通常会使中央装置单位时间的吞吐率增大,使一份报文的处理时间延长。尤其是在忙时 (峰值时间),由于在中央装置内的排队量增多,因此,其应答时间也相应地延长。

在系统设计阶段,其应答时间是按每种处理类别,以概率来表示的。例如,对于 90% 的报文的应答时间,通常应为 5 秒钟之内。

2. 随机处理

绝大部分的实时系统都必须处理随机到达的报文。而且,可以预料某一时间内报文将高度集中。这样,系统即使处于“忙”状态,也不允许丢失一份报文或因处理不当而推迟处理时间。为此,系统各部分的处理能力必须按照忙时的负荷来加以计算。例如,某个查询系统是这样设计的:该系统每天运转 18 小时,而 9 点到 10 点为其中最忙的一个小时,它集中了全天报文总数的七分之一。对于几种报文处理系统,既要推测出每种报文处理种类的最忙时刻及其集中的情况,还要把各种报文忙时在同一段时间内所要求的处理能力作为设计指标。

根据这个特点,通常组成实时系统的各个设备的每天利用率,将大大低于成批处理。因此,在大多数情况下,是将系统的运算方式设计成这样一种情况:根据忙、闲时的变化,利用实时处理的空闲时间脱机地进行所谓“后台处理”等,以有效地利用各种资源。

当实时处理的报文有两份同时到达时,可根据报文的种类上预先安置的优先级情况,对优先级高的先进行处理。此外,还经常采用动态调度的方法,即通过估算处理时间和观察所需外部设备及存储器等的状态,来决定后面应进行的处理内容。关于这种调度方法,将在 3.5 节论述。

3. 多种输入/输出

在大型联机实时系统中,连接上千台终端设备的情形也并不新奇。信息由分散在各地的各种终端设备输入到系统,经过通信线路送至中央装置。其通信方法大多采用数字信号的所谓“数据通信”方式。其通信速度范围为每秒 50~2400 比特。一般说来,其特点是,将较大的业务量集中到中心,经短时间处理后,再将响应送回终端设备。

4. 可靠性

实时系统的可靠性有两个方面。一方面为系统服务的连续性;另一方面为服务的正确性。

服务的连续性是系统必须在规定的时间内始终处于能够应答的状态。譬如,在导弹监视系统中,如果中央装置发生了故障,那么,将要失去由雷达基地陆续送来的数据。系统工作状态的评价标准,则较多地采用下列关于使用效率的公式: