

现代电信交换基础

雷振明 编著



人民邮电出版社

前 言

交换技术是通信网的核心问题。从点对点之间的通信发展到多点之间相互通信不但大量压缩建设费用,还扩大了功能,使许多新业务得以实现,从而形成日新月异的通信网如宽带综合业务数字网,个人通信网,智能网等。这些网的发展无不依赖于交换技术,而且其功能可能各不相同,可以有各式各样的实现方法;因此交换理论和交换技术必须不断发展。这样一来,现代电信交换课程,已不能局限于阐明各种具体交换设备如程控交换机,分组交换或存储转发机构等,而是需在较普遍的意义上讨论其实质,也就是从交换的基本原理来阐明,才有利于掌握不断发展的交换设施。本书就是试图从这样的意义上编写的。一般地说,作者在这方面是作了很大的努力,而且是成功的。

本书的另一特点是讨论最新的,尚未十分成熟的一些内容,例如BANYAN网络,光交换部件;ATM交换系统,B-ISDN中的通信控制规程等。从这些内容可窥见近代交换技术的发展规迹。要简明地阐述它们并使读者理解其实质是相当困难的,但作者已基本上达到这种目标。

还可提到,本书不但力求从基本概念和基础理论上讨论交换技术,而且充分考虑了实用方面的问题。搜集了不少实际材料,尤其是对信令和规程的介绍和解释。后者实际上是一种通信网中所用的语言,对通信网的运行包括控制,管理,监视是十分必要的;了解它们实际上就是了解通信网中信息流通过程;因而能更好地理解通信网中的交换技术。此外,本书所附的参考文献也相当丰富,这对有意进一步了解交换技术的读者很有帮助。每节后面都有不少思考题和习题,可进一步深化所学的概念。

由上述各点可见,本书可认为是一本较好的高等学校教材和技术人员的参考书;而当前能达到这样的要求的书尚不多见。

周炯槃

1994年10月于北邮

目 录

引言:电信交换的简史和综述	1
第一章 交换单元的结构	17
一、交换单元及其数学描述	18
二、基本开关阵列	30
三、开关阵列和集中器	40
四、时分复用信号及其交换	51
五、几种典型的时分交换结构	64
六、CLOS 网络	74
七、BANYAN 网络及其变形	84
八、两种典型的排序网络	95
九、光交换部件及其互联	104
第二章 通信网和交换系统	116
一、电话网和电话交换系统	116
二、电话用户环路和中继线路	127
三、电话中继线信令系统	140
四、数据通信网和分组交换系统	150
五、电信传输网和数字交叉连接系统	163
六、宽带 ISDN 和 ATM 交换系统	174
第三章 数据通信规程	186
一、通信规程和规程参考模型	186
二、X.25 通信规程(一):物理层和链路层	195
三、X.25 通信规程(二):网路层	204

四、ISDN 的用户线路接口规程	211
五、七号信令系统及其消息转移部	233
六、七号信令系统的第四级规程	233
七、B-ISDN 中的通信控制规程	241
八、B-ISDN 中的通信控制规程(续)	249

引言:电信交换的简史和综述

现代电信交换的内容极其丰富。这些内容是在大约一百年的漫长历史中逐渐形成的。本节简略地叙述电信交换发展中一些最重要的历史事件,并在叙述过程中介绍电信交换的各个方面,使读者对电信交换有一个大概的了解。

在本节的后面部分主要介绍了本书的体系结构安排。本书不是讲述某一种交换机的,也不是只讲述某一种交换技术的,而是把现代电信交换作为一个整体,试图为读者理解现代电信交换的各个方面打下基础。

1. 电话交换的产生

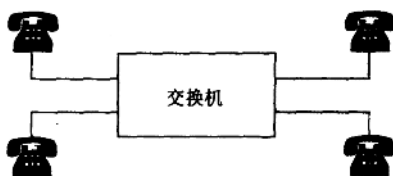
完成电话通信的系统叫做电话系统。电话系统的核心是电话交换机,或者叫做电话交换系统。电信交换技术是从电话系统发源的。直到本世纪的 70 年代,当人们说到交换的时候,指的仍然只是电话交换。并且一直到现在,电话系统仍然是电信交换技术的最主要的应用领域。

1876 年美国贝尔发明了电话机,这是一种能够同时接收和发送话音的装置。话音信号以电的形式在通信线路上传送,使得相距很远的两个人能够通话。为了节省传送话音信号的线路,有人发明了能够在—对铜线上同时传送两个方向的话音信号的技术,即话音信号的二线传输技术。在本书中,我们称连接两个电话机使之能够双向通话的传输实体为—条线路。因此,这一对铜线可以看作是一条线路。

虽然两部电话经过—条线路相联就可以进行双向通话,但是,在有很多电话要互相通信时,不可能把它们通过线路—相联。因为需要的线路太多了。我们可以很容易地算出,若有 N 个电话互相通信,则需要 $N(N-1)/2$ 条线路。并且,每个电话机都需要—个选择开关。

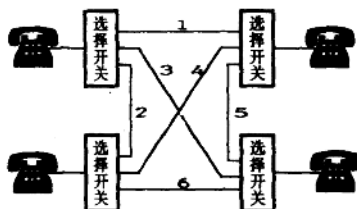
若要进行通信,发起通信的一方不仅要控制自己的选择开关,还要控制对方的选择开关,使通信双方连接起来。此外,还要考虑对方正在与其它电话机通信的情况。

图 0.1(a)中表示了 4 部电话互相连接的情形。每部电话都经过一个 1 选 3 的选择开关连接到 3 条线路,分别与其它三部电话相联。共使用了 6 条线路。若电话 A 要和电话 B 通信,则需要电话 A 的用户把选择开关 A 选到位置 1,还要有一种方法控制选择开关 B 选到位置 1,从而使电话 A 和电话 B 经线路 1 连接起来,同时电话 B 要使用某种方法告诉它的用户,有人要与他通话。同时还要考虑到,若此时电话 B 正在与其它电话(如电话 C)进行通话,则选择开关 B 不应中断正在进行的通话,而应当通知电话 A,它要与 B 通话的要求不能满足。



(a) 4 部电话相联需要 6 条线路

很自然地想到,如果有一种公共设备,每个电话机都只通过一条线路连接到这个公共设备上,由这个公共设备把两部电话机连接在一起,那么,就可以节省大量的线路。这个公共设备就是电话交换机。它所完成的根据电话使用者要求把电话机连接在一起使之能够互相通信的功能,就叫做交换。显然,电话交换机的功能应是前述的各选择开关的功能的总和。而且,直接把这些分散的互相连接的选择开关



(b) 电话交换机
图 0.1 电话交换

很自然地想到,如果有一种公共设备,每个电话机都只通过一条线路连接到这个公共设备上,由这个公共设备把两部电话机连接在一起,那么,就可以节省大量的线路。这个公共设备就是电话交换机。它所完成的根据电话使用者要求把电话机连接在一起使之能够互相通信的功能,就叫做交换。显然,电话交换机的功能应是前述的各选择开关的功能的总和。而且,直接把这些分散的互相连接的选择开关

集中在一起做成一个设备,也就是一个最简单的电话交换机。

在电话发明了两年以后,第一个电话交换局就在美国康涅狄格州的 New Heaven 开通。这就是现代电信交换的开始。

2. 电话人工交换

在最早的电话交换局中采用的是人工交换方法,当时使用的是磁石电话机。这种电话机上有一个手摇式磁石发电机。当用户要通话时,他摇动这个发电机的手柄。发电机发出的电流经用户线路到达交换局,使交换局的设备动作,产生相应的信号,使操作员得知用户的通话要求。操作员向用户询问,并按用户要求向对方振铃,即向对方话机发送频率为 25Hz 的高压信号,使对方话机的电铃振响。当对方拿起话机后,操作员把双方的线路连接在一起,使双方开始通话。通话结束后,操作员再把这个连接拆掉。这叫做磁石式人工交换。

在上述通话过程中,发起通信称作呼叫。发起通信的一方称作主叫方,或简称主叫。通信的对方称作被叫方,或简称被叫。这几个名词在电信交换中被延用至今。

另一种人工交换方法叫做共电式方法。它与磁石式的不同之处在于,它不是由用户产生电流来通知交换局,而是由交换局的中央电池向各个话机供电(这叫做中央馈电)。当用户要求通话时,他拿起话机(叫做摘机),这使交换局的供电环路接通,环路上的电流增大,于是操作员得知用户的通话要求。通话完毕,用户放下话机(叫做挂机),环路上的电流减小,于是操作员得知用户的通话已经结束。与磁石式相比,用户省去了手摇发电机之苦。摘机和挂机这两个名词此后在电信交换中广泛使用,在很多场合甚至作为通话开始和结束的代名词。

现在,人工交换只是在某些边远地区和特殊场合使用。但是,电话机的基本动作原理和一些用户线上的接口标准,例如:二线话音传送,中央馈电,摘、挂机和振铃等等,却一直在电话系统中使用,直至今日。

3. 步进制和纵横制电话交换

第一部自动交换机出现在 1892 年,发明人是美国人史端乔。实现自动电话交换的关键有两点。其一是在电话机上增加了称为拨号盘的部件,为每个电话机指定一个唯一的电话号码,用户可以用拨号盘产生脉冲拨号来表示要求通话的对方电话号码。号码 1、2、3、4、5、6、7、8、9、0 分别用 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10 个等宽度等间隔的脉冲表示,而这些脉冲的产生则是依靠通断电话机的直流馈电环路。其二是使用电磁控制的机械接点的开关部件来将要求通话的双方连接起来,这些部件的动作可以由拨号盘产生的拨号脉冲直接控制。

摘机、挂机、振铃和拨号等控制电话通信的控制信息,在电信交换中称作信令,在不会引起混淆的时候,也称作信号。把通话的双方连接起来的动作常常称作为双方建立一个连接,相反的动作称作拆除一个连接。

第一代电话交换机现在一般称为步进制交换机。实际上,它包含了几种在这同一时期出现的基本原理相同但基本交换部件有些差异的类型。例如:史端乔式、旋转式、步进式,等等。我国 50 年代和 60 年代生产的 47 式和 JZB-1A 型交换机都属步进制,现在还有部分地区在使用。

在本世纪 30 年代末 40 年代初,出现了纵横制交换机。步进制交换机的核心交换部件是步进选择器,而纵横制交换机的核心交换部件是纵横接线器。与步进选择器相比,纵横接线器的体积更小,开关密度更大,并且无机械旋转动作,因而可靠性更高。纵横制交换机中使用的交换结构也与步进制有很大不同。

纵横制交换机目前我国还有部分地区在使用,例如上海生产的 HJ905、HJ906、HJ921 型等等。

作为电话交换的早期发展历史的一份资料,读者可以参阅参考文献[1]。

4. 电话网和通信网

并不能只用一个交换机就把所有电话机连接起来,这不仅是因为电话机的数目太多(例如全世界的电话可有上亿部之多),而且是因为这些电话机分布在极其广大的地理范围上,统统连接在一起会导致线路的极大浪费。为此,在实际中,人们是把许多交换机彼此相联,构成一个完成交换机功能的整体。这个整体就是电话网。

图 0.2 是一个电话网的示意图。在电话网中,连接交换机和交换机的线路叫做中继线路,连接交换机和电话机的线路叫做用户线路。交换机、中继线路和用户线路是构成电话网的三个基本要素。电话机则是连接在电话网上的用户设备。其中,由于中继线路往往距离显著地比用户线路长,占用了电话网建设成本的很大部分,所以往往要使用各种方法提高其利用率。

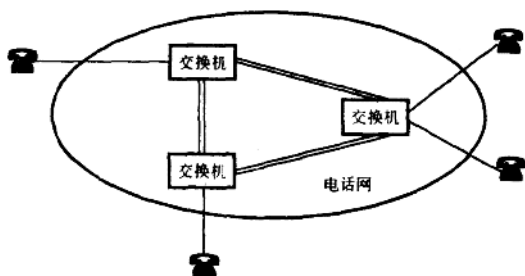


图 0.2 电话网

在电话网上为用户建立和拆除连接,使电话用户能够互相通信,往往需要多个交换机协同动作。在交换机间传送的控制动作的信号称作中继线信令或信号。在交换机和电话机间传送的控制动作的信号则称作用户线信令或信号。

电话网是人类有史以来建造的最庞大的工程,交换机则是它的核心要素。现在,在原有的电话网上传送的已远不是只有电话一种。因此,电话网已经发展成为传送各种信息的通信网。

5. 话务理论

很早就有人注意到,没有一个用户会连续不断地接收或发送消息。例如,一部电话机在一天中的绝大部分时间都处于空闲。在电话工程中利用这一点,使用设备共享的方法来节省中继线路和交换机内部的部件。例如,在图 0.2 所示的电话网中,一个连接有几百部电话机的交换机往往只使用几十条中继线路。在这种情况下,人们关心的是需要多少线路或设备,就能够得到什么样的性能。例如,在用户要求使用中继线路时没有空闲的中继线路可供使用的概率。从这方面的要求出发,在第一代自动电话交换机诞生十几年后,也就是本世纪初,瑞典数学家爱尔兰(A. K. Erlang)建立了排队论。这一理论以自动电话交换机和中继线路上的设备共享为研究对象,成为交换技术的一个基本数学工具。现在,排队论已是数学的重要分支,研究对象也已非常广泛。

一部电话在单位时间内的通话时长称为话务量。话务量往往是根据实际情况统计得到的。话务量统计是电话交换局的一项日常工作。

通话的实质是占用有关的电信设备。假设一个设备(例如一段中继线路)最多能同时为 N 个用户(例如 N 个电话机)服务并且已经有 N 个用户在被服务,则一个新的服务请求会被拒绝。一个电话呼叫被拒绝称作呼叫损失,或简称为呼损。

呼叫损失的概率也常简称为呼损。假设一部电话机上的通话过程是一个典型的生灭过程,则可以根据话务量,使用排队论方法计算呼损和其它感兴趣的量。考察在单位时间内一个设备上不能被服务的那些呼叫所需要的时间,它是一个与话务量相似的量,称作溢出话务量。

运用排队论方法,对话务量及其它有关的量进行研究的理论,称作话务理论。话务理论不仅用于电话交换,也用于其它交换系统。因此,现在话务量也常称作业务量。

爱尔兰是排队论和话务理论的奠基人。关于他的工作的一个简述,可以参阅文献[2]。

6. 电话交换的存储程序控制和数字化

纵横制交换机中最复杂的就是控制部分。随着电子计算机技术的发展,产生了使用计算机技术进行交换机的控制的可能性。到本世纪 60 年代中期,美国 AT&T 公司开通了世界上第一部存储程序控制的空分制电话交换机,即 1ESS 电子交换系统。与纵横制交换机相比,它的交换部分变化不大,但其控制部分则使用了电子计算机。

随着数字技术和光纤技术的发展,在电话中继线路上,信息的传送逐渐由模拟方式向数字方式过渡,这导致交换机中直接进行交换动作的部件也发生了革命性变化。在 1970 年,世界上第一部时分电子交换机在法国投入运营。在这部交换机中,不仅控制部分使用了电子计算机,交换部分也使用了数字的电子器件和新的交换结构。模拟的话音信号经过模数变换,变为数字信号送入交换部分。自此,交换技术进入了电子化、数字化和计算机化的新时代。

目前,欧、美、日各国都已能生产十万线以上的大型程控电话交换系统。我国近年相继引进了比利时的 S1240,法国的 E10B,美国的 5ESS,瑞典的 AXE10,日本的 NEAX61,等等,都是当代最先进的程控电话交换系统。我国还和外国合资建立了大型交换机生产工厂。同时,我国自己研制的交换机也已经大量投入生产。

7. 电报系统和电报交换

电报的发明比电话要早大约半个世纪。早在 1837 年,第一台实用的电报机就出现了。不过,自动电报交换机(通常称为自动转报机)的出现却大大晚于电话。

电报的传送过程是:首先把要传送的文字信息和收报人地址翻译成代码,形成一段报文。然后由发报机拍发,经线路送到收报机。收到的报文要再翻译成文字,并根据报文中的收报人地址送到收报人

手中。由于和电话系统相同的原因,不能把所有的发报机和所有的收报机一一互联。因此,通过设置一定数量的转报中心,以其为核心构成电报网,节省连接收发报机的线路数目。

电报网的工作原理可以图 0.3 为例说明如下:若发报机 a 向收报机 c 发送一段报文,则这段报文首先被送到转报中心 A。转报中心 A 根据收报人地址判断,将其转发到转报中心 B。转报中心 B 再根据收报人地址判断,将其转发到收报机 C。

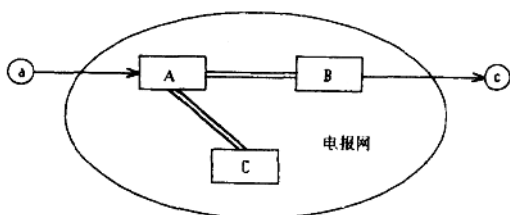


图 0.3 电报网

在早期的转报中心,有很多收、发报机。由工作人员把收到的报文抄下来,再根据收报人地址,选择另一台发报机发出去。后来改用穿孔纸带。收报机把收到的报文打在穿孔纸带上,操作人员把一段段纸带分开,用不同的发报机发出去。因为收报机能把收到的报文打在穿孔纸带上,发报机也能把纸带上的报文直接发出去,所以不再需要人工记录报文,也不再需要重新拍发报文。这叫做撕纸条半自动转报方式。我国在 50、60 年代广泛使用这种方式。

在程控电话交换机出现的同一时期出现了程控自动转报设备。这种设备以电子计算机为核心,使用磁心存储器、半导体存储器、磁盘、磁带来存储报文。电报交换自此进入自动化阶段。我国自 1965 年起进行这方面的研究,现已能生产四千线以上的程控自动转报设备。

电话网和电报网的基本结构是相同的。转报设备的位置和电话交换机也是相同的。同时,二者的功能都是使连接在网上的众多终端(电话机或电报机)能够任意互相通信。因此,可以认为转报机也是一种交换设备,即电报交换设备,或电报交换机。

8. 电路交换和信息交换

电话交换和电报交换也有很大不同。

在电话系统中,对交换机的要求是:

◆一次通话的过程是:主叫方向被叫方进行呼叫,电话网中有关的各交换机为通话建立一个连接,即通过若干用户线和中继线的连接,使通话的双方之间存在一条进行通信的电路,通信结束则把这个连接拆除;

◆通信是双方交互的和实时的;

◆对于干扰和噪声,只要不是特别严重,就不影响通信的正常进行。

因此,电话交换的特点是:

◆基本的交换动作是在呼叫时进行相应电路的连接,在通信结束时拆除连接;

◆在通信中双方之间始终存在一条电路;

◆对于在这条电路上的通信内容,交换系统不进行纠错检错及其它处理。

在通信双方之间存在一条电路是上述交换方式的要点,因此称之为电路交换。

在电报系统中,对交换机的要求是:

◆根据报文中的收报人地址确定接收报文的地点并送到对方;

◆通信不必是双方交互的,报文送到对方,不一定要求对方马上应答。报文的传送也不要求实时,只要在一定时限内送到对方即可;

◆报文传送中不能有差错。

因此,电报交换的特点是:

◆基本的交换动作是存储报文、分析报文中的收报人地址和对报文进行转发;

◆在有多段报文送往同一地点时,可以对其进行排队,逐段按顺序发送;

◆报文传送中有检错纠错措施。

以报文为单位进行信息的存储和转发是电报交换的要点,因此称之为报文交换、信息交换或存储转发交换。

电路交换和信息交换是两种截然不同的交换方式。

9. 公众数据网和分组交换方式

电子计算机的出现不仅使电话交换和电报交换都发生了巨大的变化,电子计算机之间也逐渐产生了通信的要求。这种要求导致了在70年代数据通信网和数据交换机的产生。现在,世界上许多国家都已建成了公众数据通信网。我国也正在建设自己的公众数据通信网,研制数据交换机的工作也正在进行。

可以使用电话网和电路交换方式进行计算机通信,但是需要增加纠错检错措施,同时,由于在计算机通信中存在大量的空闲时间,把一条电路完全分配给一个通信是不经济的。也可以使用电报网和信息交换方式进行计算机通信,例如传送电子信件。但是,很多计算机通信也是交互的和实时的,例如远程计算机终端对大型计算机的操作,在这种情况下,电报网和信息交换方式就无能为力了。这样,在70年代产生了适合计算机通信的新的交换方式,即将电路交换方式和信息交换方式综合在一起的分组交换方式。

分组交换方式的特点是:对发送的信息也做成一段段报文(称作分组)发送,从而可以像信息交换方式那样进行无差错传送,并可以使电路在空闲时传送其它信息。同时在交换机内部采取措施使其在信息传送时延迟不致过大。又像电路交换方式那样,在一次通信开始和结束时建立和拆除连接,但建立和拆除连接并不是真的把一条电路完全分配给这个通信,而只是在有信息传送时使其能够使用这条电路。

10. 综合业务数字网和宽带交换

在电信部门,业务这个词有其特定的含义,电话、电报和数据都

是电信业务的例子。不同的电信业务常常使用不同的电信网来提供。因此,人们常常用通信网上的业务来命名某一类通信网,例如电话网、电报网、数据网等等。通信网上的业务不同,使用的终端不同,使用的交换机常也不同,而且这种不同常常具有本质的和原理上的意义。

以往的通信网都是单一业务的,即一个通信网只能提供一种电信业务。但是,重重叠叠地建立许多单一业务的通信网是很不经济的。因此,在整个 80 年代,网的综合的问题,即使用一种通信网来提供各种电信业务,从而取代现有的电话网、电报网、数据网的问题,成为电信界的一个研究热点。研究的成果是出现了一种新的通信网,这种通信网被称作“综合业务数字化网”,英文简称为 ISDN。这种网能同时向用户提供电话和数据业务。目前,它已在一些先进国家投入使用。

80 年代末 90 年代初,人们已经开始展望下个世纪。随着通信业务的种类越来越多,通信的应用越来越广泛,同时也是由于通信技术,特别是光技术和集成电路技术的迅速而巨大的进步,电信界现在已经达成一个基本一致的共识。这就是,下个世纪的通信网应是能提供各种电信业务的和通信能力空前巨大的网,这种网叫做宽带 ISDN。在宽带 ISDN 中使用的交换机,叫做宽带交换机。宽带交换机能够以极高的速度进行各种电信业务的交换。同时,由于在宽带 ISDN 中光信号的广泛使用和光计算技术的发展,产生了研究如何进行光信号的交换的光交换技术。宽带交换技术和光交换技术是现在世界上的各发达国家都在积极研究的技术。许多国家已经展示了他们的宽带交换和光交换样品。在我国,这方面的研究也已经在进行。

11. 各种其它新型电信网

近 20 年是电信网发生迅速变化的时代。现代电信网是由各种先进的传输媒体和交换设备构成的复杂的大系统。电信网中使用最广泛的传输媒体是光纤。也大量使用卫星和数字微波。

电信网在近年来发生的最大的变化是各种新型通信网,如传输网、各种局域网和专用网、智能网、电信管理网和移动通信网,每一种网中都使用自己的特殊的交换设备,或者对已有的交换设备提出新的要求。

早期,交换机之间直接用中继线路连接。现在,交换机则是经过电信传输网连接起来。有了传输网,网络管理人员可以根据实际情况来灵活地调度各个交换机间的中继线路资源。电信传输网是由中继线路经数字交叉连接系统连接起来构成的。数字交叉连接系统是一种具有交换功能的设备,但是,它不是根据用户要求来建立和拆除连接,而是根据网络管理人员的命令来动作。

各种局域网和专用网,特别是计算机局域网,使用了多种新的交换技术。

智能网的目的是使通信网能够更迅速地向用户提供各种电信新业务,使用户能够对通信网有更强的控制功能,并能够更灵活地使用通信网。为了满足建立智能网的要求,交换机要对交换功能进行分解,能够提供相应的控制接口,使外部能够更细地控制交换过程的各个阶段。

电信管理网是对通信网进行管理的网。为建立通信管理网,交换机要能够提供统一的电信管理接口。网络管理中心通过这些接口了解网的工作状态,并对网的工作进行控制。

移动通信网的用户是移动的,通过无线信道接入网络。因此,移动通信网的交换机要具有一些特殊的功能,例如,在网络覆盖的范围内寻找被叫用户的功能等。近年出现的个人通信网也属于这种类型。

12. 交换设备的功能结构

按功能划分,交换设备是以交换单元为核心,附加外部接口单元和控制单元构成的。其中,交换单元完成交换动作,外部接口单元完成外部线路接口标准和交换单元接口标准的转换,往往包括交换控制信号的分离。控制单元则根据外部送入的控制信号,对交换单元的