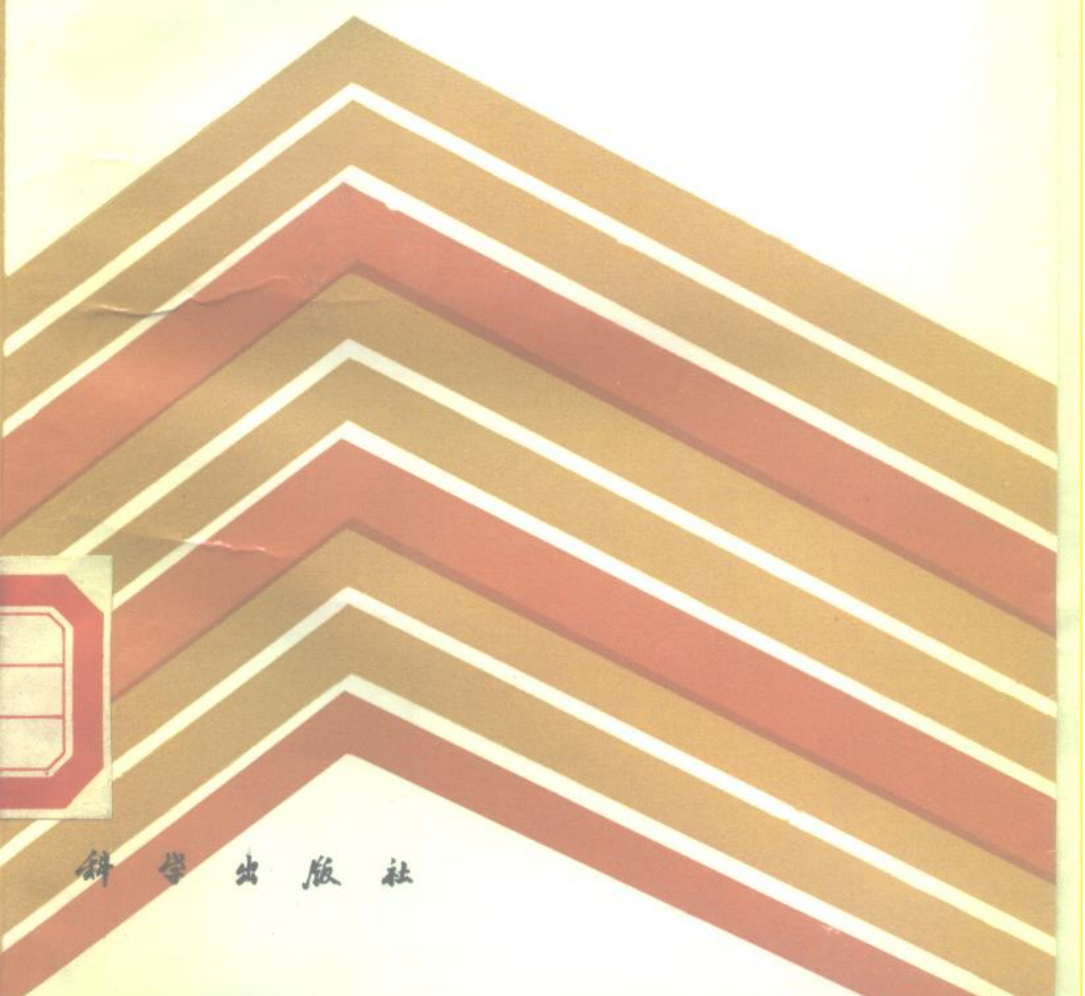


分组话音通信

谢希仁 著



科学出版社

分组话音通信

谢希仁 著

国家自然科学基金资助项目

科学出版社

1991

内 容 简 介

本书为国家自然科学基金资助项目——分组话音通信——的总结报告。全书共分六章，第一章对分组话音通信进行概述，第二章为话音信号的通-断统计特性，第三章讨论分组话音通信中的迟延与同步这一关键问题，第四至第六章则分别讨论分组话音通信实验网络 NICENET 的组成部件、网络协议和性能分析。

本书可供从事有关工作的科研人员和高等院校通信或计算机专业的教师、研究生及高年级学生阅读、参考。

分 组 话 音 通 信

谢希仁 著

责任编辑 那莉莉

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1991年6月第一版 开本：850×1168 1/32

1991年6月第一次印刷 印张：9 插页：2

印数：0001—1 050 字数：234 000

ISBN 7-03-002401-X/TN·103

定价：12.20元

序

自 70 年代起,美国林肯实验室就率先对分组话音通信进行研究,现已取得了不少令人鼓舞的成果。虽然有关分组话音通信的国外文献目前已有不少,但仍未见过一本较系统的专著出版。南京通信工程学院谢希仁教授早在 1983 年就从事分组话音通信的研究,在国内最先实现了一个分组话音通信的实验网络。现在他将课题组的研究成果,结合有关的国外资料,写成了《分组话音通信》一书。相信本书的出版将对关心电信网络发展的科技人员以及有关专业的师生有所裨益。

1947 年我在清华大学讲授普通物理时,谢希仁曾是我班上的学生。1951 年我又教过他无线电原理,当时他是班上的佼佼者。近年来他在学术与科研方面都有卓越的成就,今又完成此专著,更是钦佩。见到学生的成长,我深感欣慰。希望他继续努力,取得更好的成绩。

孟昭英

1990 年 5 月于清华大学

前 言

在国家自然科学基金的资助下，南京通信工程学院的分组话音通信课题组开展了一些研究工作。原先曾设想出版一本反映课题组研究成果的论文集，但考虑到应尽可能地给读者一个关于分组话音通信的较完整的概念，因此就以现在的专著形式出版了。

第一章是概述，介绍分组话音通信的发展背景、基本概念以及对它的研究和发展概况。第二章讨论话音信号的通-断统计特性。这是我们在国外研究的基础上，针对汉语的不同特点，所获得的一些研究结果。这些都是属于分组话音通信领域中的一些带基础研究性质的问题。由于在分组话音通信中话音分组的迟延与同步是个至关重要的问题，因此本书在第三章集中地讨论了这一问题。从第四章到第六章都是关于我们自行研制的实验模型 NICENET 的主要问题。第四章着重从硬件的角度出发，讨论 NICENET 的各主要组成部件。虽然我们都给出了各部件的电路图，但在介绍其工作原理时，只选择其中较为重要的部分进行讨论。第五章按照媒体访问控制子层、逻辑链路控制子层和运输层这三个不同的层，着重讨论我们对网络协议所做的一些工作。至于与面向数据传输的标准网络协议相同的内容，限于篇幅一般就不再讨论了。第六章是 NICENET 的性能分析。由于这部分内容尚有不少仍有待于继续研究，因此这里只讨论最佳话音分组长度、话音分组的传输性能、分组话音通信中话音质量的评测以及网络中最佳令牌轮转周期的计算等问题。在第六章之后有一简短的结束语。全书的最后附有主要的参考文献，可供读者继续深入研究时参考。

这里必须强调指出，虽然本书是由作者一个人从头到尾执笔写出，但实际上，实验模型 NICENET 的大量硬件和软件工作都是几届研究生在付出艰巨的劳动后才完成的，作者仅仅起了一点

指导作用。

虽然在参考文献里列举了作者所引用的历届研究生发表的论文,但这里还是应当指出他们各自所做出的特殊贡献。陈晓强、赵新华为 NICENET 进行了探索性的研究,并且为 NICENET 的研究提出了许多宝贵的意见。徐子平在话音信号的通断统计特性以及话音模型的研究方面付出了大量的劳动,并取得了明显的成果。他提出了用流量因子来计算最佳话音分组长度;此外,在网络的硬件方面,他还担任了媒体访问单元和话音网关的设计。卫舒超设计了分组话音终端及其相应的软件;彭磊设计了系统接口单元、话音终端接口单元和数据终端接口单元的全部硬件;郭兴社设计了全部的网络协议,编制了相应的网络软件,同时提出了动态切换目标令牌轮转时间的方法,有效地提高了信道的利用率。孙国萌和钟共鸣共同完成了 NICENET 的第二个版本,增加了电话会议的功能,完善了话音分组的同步技术,更好地解决了网络接口单元中的进程调度以及网络运行可靠的问题。胡谷雨则在此基础上完成了话音分组的传输性能测试和对分组话音通信中的话音质量的评测;此外,他还分析了网络中的最佳令牌轮转周期。还有一些研究生,如董强、彭强和沈庆国,虽然他们没有直接参与NICENET的研制,但是也为分组话音通信的研究做出了贡献。

在作者完成本书的初稿后,徐子平、孙国萌和胡谷雨对稿件提出了许多宝贵的意见,董强为本书重新绘制了 NICENET 6 个部件的电路图,作者在此对他们表示感谢。

使作者感到非常荣幸的是,中国科学院学部委员、著名电子学前辈、作者在大学时代的老师孟昭英教授为本书写了序。作者在此再次对他表示衷心的感谢。

我们的研究工作还不够深入。如果本书出版能够对我国分组话音通信的研究起到一点推动作用,那将使我们感到十分欣慰。限于水平,不妥或谬误之处在所难免,殷切希望广大读者批评指正。

谢希仁

1990年7月于南京

目 录

第一章 分组话音通信概述	1
1.1 分组话音通信的发展背景	1
1.2 分组话音通信的基本概念	16
1.3 分组话音通信的研究与发展概况	29
第二章 话音信号的通断统计特性	45
2.1 P.T. Brady 的研究结果	45
2.2 汉语普通话电话信号统计规律的研究	52
2.3 产生话音通断模式的模型	62
2.4 保持时间和填充时间对话音通断特性的影响	77
第三章 话音分组的迟延与同步	95
3.1 关于迟延的分析	95
3.2 分组话音通信中的同步技术	111
3.3 话音分组的丢失对话音质量的影响	117
第四章 NICENET——一个分组话音通信的实验模型	124
4.1 NICENET 的总体设计	124
4.2 分组话音终端 PVT	129
4.3 网络接口单元 NIU	156
4.4 话音网关 VG	179
第五章 NICENET 的网络协议	182
5.1 概述	182
5.2 媒体访问控制子层协议	190
5.3 逻辑链路控制子层协议	213
5.4 运输层协议	220
第六章 NICENET 的性能分析	228
6.1 最佳话音分组长度的确定	228

6.2 分组话音通信的传输性能测试242

6.3 话音质量的主观评测253

6.4 最佳令牌轮转周期263

结束语272

参考文献274

第一章 分组话音通信概述

目前,人们已普遍认识到,一个国家经济和社会的发达程度与该国家对信息的获取、传递和处理的能力有十分密切的关系。因此,在现代社会中,信息已成为一种非常重要的资源。信息时代(Information Age)这一名词也已经广泛地被人们所使用。

信息的传递,主要是依靠通信来实现的。近几十年来,由于微电子技术的飞速发展,使得计算机与通信密切结合,同时也使得信息处理与信息传递的界限日益模糊,因而通信的作用更加突出,新的通信技术和手段层出不穷。

现代通信技术的分类方法非常之多,若按照信息传输的媒体来划分,则可分为有线通信(包括光纤通信)和无线通信(包括卫星通信);若按所传信息的类别来划分,则可分为话音通信、电报通信、传真通信、数据通信、图像通信等;若按电信网络的交换方式来划分,则可分为**电路交换**(circuit switching)、**分组交换**(packet switching)和**报文交换**(message switching)等¹⁾。还有许多种其他划分方法。本书所讨论的分组话音通信是一种新型的通信技术,这种通信技术所使用的通信网是分组交换网,而所传信息是人的话音。

本章首先介绍分组话音通信的产生背景,然后进一步讨论有关分组话音通信的若干基本概念,最后,就国外和国内对分组话音通信的研究概况作一简介。

1.1 分组话音通信的发展背景

分组话音通信的基础是分组交换的计算机网络。因此先谈一

1) 电路交换又称为线路交换。分组交换有时也称为包交换,即将“packet”译为包。

下分组交换的产生。

1.1.1 计算机网络采用分组交换技术

早在电话问世后不久,人们就认识到,要使大量的电话用户能够在彼此之间很方便地进行通话,在所有需要互相通话的用户之间架设直通的电话线路是不可行的。必须在适当的地方安装电话交换机。这些交换机对用户的每次呼叫为通信双方选择和建立一条连续的端到端的实时物理连接信道,直到双方通信完毕。这就是电路交换。

一个世纪以来,交换机经过几次更新换代,从最初的人工交换机发展到机电的、电子的以及现代的程控交换机,然而电路交换的本质依然未变。在目前四通八达的、覆盖全球的现代电信网络中,电路交换仍然占据主导地位。在50年代初期发展起来的面向终端的计算机网络,也是使用电路交换。即使到了今天,也仍然有相当数量的这种计算机网络在工作着。

然而到了1964年,美国 Rand 公司的 P. Baran 在题为“关于分布式通信”的研究报告中,第一次提出了崭新的分组交换的概念”。1966年6月,英国国家物理实验室(NPL)的 D. Davies 在题为“一个数字通信网的建议”的报告中,第一次提出了“分组”这一名词。1969年12月,美国国防部远景规划局(DARPA)研制的 ARPANET 投入运行(当时仅有4个节点)。这是世界上第一个使用分组交换技术的计算机网络,目前该网络的节点数目已达300个。

-
- 1) 美国的计算机协会 ACM 的数据通信专业组 SIGCOMM(Special Interest Group on Data Communication) 于1989年开始设立 SIGCOMM 年度奖,奖给对通信和建网的理论或实践方面有突出贡献的人。1989年10月公布的第一个获得SIGCOMM年度奖的就是 P.Baran,因为“Baran 在60年代初期关于分组交换这一创造性的概念,已经成为当今的一个全数字化的、用计算机控制的、顽存力很强的全国范围(指美国)的网络的基石”。1990年美国IEEE给9名杰出的工程师授予不同的奖励,其中也有 Baran,他得了A.G. Bell 奖。由此可以看出 Baran 提出的分组交换概念的深远意义。

ARPANET 的成功经验证明了分组交换用于计算机的数据通信在技术上和经济上都是可行的。这就导致了后来的公用数据网也采用了分组交换技术。例如，美国在 1973 年研制的 TELENET，紧接着安装的如加拿大的 DATAPAC，法国的 TRANSPAC 以及日本的 DDX，都属于这种分组交换网。目前实际上所有的计算机网络，不论是公用的还是专用的，差不多都采用分组交换技术。

分组交换是一种以**分组**为**独立传输单位**的**存储转发**交换。每个分组都携带若干比特的控制信息（例如地址、编号、应答等等）。这些控制信息又称为**首标**（header），因为它常位于一个分组的最前面。分组交换网各节点之间的链路一般都是高速链路（几十 kb/s 以上）。每个节点都有存储和处理能力。在通信时，节点将前面的节点发送过来的分组先收下来，暂存在缓冲区中，然后根据分组首标中的信息，将分组沿合适的链路转发出去。这样，像接力赛跑一样，一个个分组迅速地从源节点传送到目的节点。这里特别要注意的是：只有当分组正在某一段链路上传送时，该链路才被占用。可见分组交换是一种断续分配传输带宽的交换技术。

计算机通信之所以要采用分组交换，主要是由于计算机数据具有以下的一些特性：

(1) 计算机数据具有突发性。当计算机连接在通信网络上时，它对通信资源的平均利用率并不高。但是，计算机往往会在很短的时间内产生大量的突发信息。几乎所有的人机对话数据率的峰均比都超过 10。这就要求间断地使用高速信道。若使用电路交换，则显然会大大降低信道的利用率。

(2) 计算机数据在传送时具有多种不同的数据率。目前计算机以及各类终端型号繁多，速率各异。这是由于计算机应用的多样性产生的结果。若使用电路交换，则不易于将各种不同类型、不同规程、不同速率的终端和计算机连接起来。同时，数据的传输速

1) 分组的长度通常在网络协议中有具体规定，典型的分组长度为 1000bit。

率也往往受到电话信道标准速率的限制，使得上述的连接更加困难。当采用分组交换时，由于各节点都有存储和处理功能，因此这个问题较易解决。

(3) 计算机数据的传输常要求无差错。为了实现无差错传输，现在广泛使用校验码，若检测到差错则进行重发。电路交换是在端到端的基础上实现数据传输检错和重发的。这会使得传输效率较低。例如，一些数据要经过 10 段链路传输才能到达目的节点。若前 9 段链路的传输都正确，而在最后一段链路上产生了差错，则也要导致端到端的重传，从而浪费了前 9 段链路的传输。分组交换则将数据的可靠传输建立在逐段链路存储转发的基础上，各段链路的可靠传输具有相对的独立性。如发现最后一段链路的传输有差错，则只需对这一段链路的传输进行重传，而这并不会影响前面 9 段链路的传输。由此可见，在实现数据可靠传输方面，分组交换较之电路交换具有明显的优越性。

除此以外，分组交换比电路交换具有更强的灵活性。例如，数据分组在传输过程中，可以根据网络的拥塞程度或在网络某一部分发生故障的条件下，动态地改变分组的路由。而电路交换一旦建立了端到端的通信电路，其路由一般不能动态地改变。

根据上面的简单介绍可以看出，由于分组交换网中的每一个节点都要对通过的分组进行短暂的存储和处理，其技术显然比传统的电路交换要复杂些。但是一种新技术能否得到推广使用，很关键的一点是其经济效益。如果一种新的技术可以提供更好的服务，但所需的费用也更高，那么是否应采用这种新技术，还需全面核算一下。比较理想的情况是：能提供更好的服务，但费用也更加低廉。

对分组交换的经济性研究始于 1974 年。对 ARPANET 的建设起了重大贡献的 L.G. Roberts 论证了由于微电子技术的进展，节点的分组交换机的存储和处理费用一直在并且将继续迅速下降。因此对于传送计算机数据，用分组交换要比用电路交换更为经济^[1]。1982 年，Roberts 再次论证了分组交换的经济性^[2]。他根

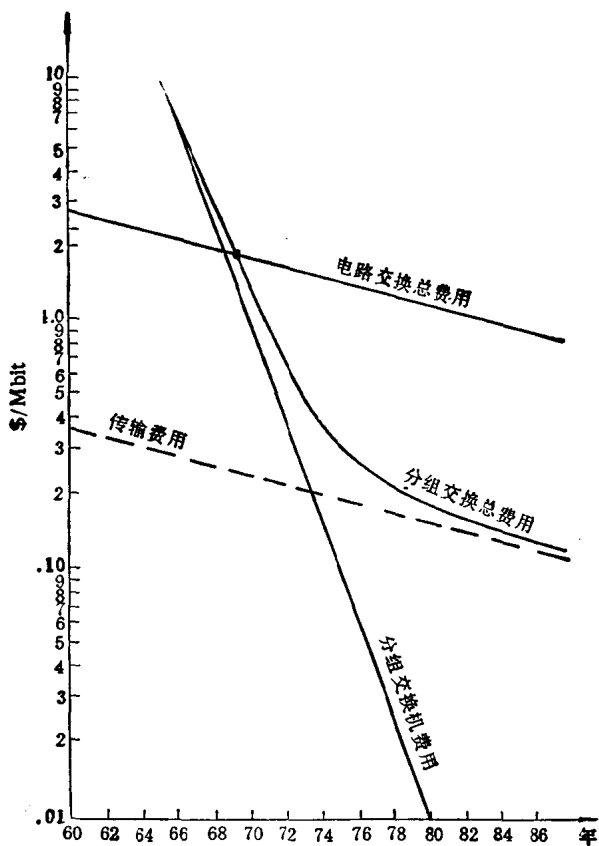


图 1.1 分组交换与电路交换的对比

据计算机网络实际运行的情况修正了在文献[1]中所用的数据(如分组的平均长度是 256 bit 而不是 1024 bit)。所得结果如图 1.1 所示。这些曲线的变化趋势和文献[1]的结论是一致的。图中的费用是以在美国国内每传送 1Mbit 的数据所需的美元为单位。虚线的传输费用是假定使用 56 kbit/s 的线路(100%的利用率)。电路交换的总费用是假定了线路的利用率为 13%。分组交换则假定平均分组长度为 256 bit。曲线表明,1969 年是一个重要的转折

点。因为从这一年起，分组交换的总费用开始低于电路交换的总费用。图 1.1 还表明，由于微电子技术的发展，分组交换机的费用每年大约减少 37%。由于带宽的节省，分组交换的传输费用约为电路交换的 1/7.5。这就是自从 70 年代后，分组交换的计算机网络得到了如此迅速发展的原因。

1.1.2 网络朝着综合业务的方向发展

1. 通信网络的发展方向

在分组交换的计算机网络问世后，通信网络的建设是否应当像这样“并行建网”？所谓并行建网，是指对于传送话音信息，就建设电路交换网络，而要传送计算机的数据，就建设分组交换网络。并行建网的明显好处是可以充分发挥电路交换和分组交换这两种不同技术各自的长处。

但是，通信网络的建设是一件耗资巨大且建设周期很长的复杂工程。因此，并行建网从经济上来考虑是不合算的。我们不可能为每一种业务建设一种最适合于该业务的特定的通信网络。事实上，现有的网络已不止这两种。例如，还有电报网、传真网等。在一些工业发达国家里，还很流行有线电视广播网。

人们自然会想到，最好只用一种网络就能向用户们提供各种所需的服务。即使今后又产生了新的业务，这种网络也应该能向用户提供这些新的服务。由于话音和数据是当前通信中最主要的两种业务，因此大家常称这种网络为话音数据综合网。

未来的话音数据综合网究竟应当采用何种交换技术呢？看来大致有以下三种可能：

- (1) 以电路交换为主来综合话音和数据业务；
- (2) 以分组交换为主来综合话音和数据业务；
- (3) 采用吸取电路交换和分组交换各自优点的新的综合交换技术。

以上三种方法究竟孰优孰劣，乃是当今有关各界经常激烈争论的热门话题。由于电子技术的飞速发展，今天的某一缺点，过些

时间很可能就不再是缺点。因此,十多年来,上述争论并未结束。现在很容易在各种文献中找到一些意见相反的观点。这正好说明网络应如何演变是个相当复杂的问题。下面我们将扼要地讨论一下这个问题,这将有助于了解分组话音通信的发展背景。

2. 综合业务数字网

综合业务数字网简称为 ISDN (Integrated Services Digital Network),它是当前网络界最流行的术语,也是近年来在多种国际会议中广泛讨论的课题。现在已有一些专著和期刊的专辑深入讨论 ISDN^[3~5]。

ISDN 这一概念是在 1972 年的国际电报电话咨询委员会 CCITT 的全会上开始提出的。正式的研究是从 1978 年开始。ISDN 是以电路交换为主将话音和数据等业务都综合到一个网络中。话音与数据以及其他一些信息本来在特性上存在着不少差异,但如果将它们都进行数字化,即都转变为二进制代码,那么各种不同的信息就都可以在统一的数字网络中进行传输和交换。从理论上讲,今后不论出现何种新业务,只要这种业务的信息能用二进制代码来表示,那么 ISDN 就可以容纳这种业务。

ISDN 采用数字传输技术和数字交换技术,这不仅使得 ISDN 能方便灵活地综合各种业务,还能保证它比模拟网络具有更高的传输质量、更高的可靠性和更低的价格。ISDN 采用以电路交换为主的交换方式,是因为那时在各种业务之中,话音业务占据了绝对优势(占 90% 以上),而电话通信一直采用的是电路交换。因此,从人们长期的习惯考虑,从如何由现有的电路交换模拟通信网向 ISDN 逐渐过渡考虑,ISDN 就确定以电路交换为主来综合各种业务。

这里特别值得提出的是 CCITT 已经成功地对 ISDN 的基本构成进行了标准化。CCITT 于 1984 年正式通过的 I 系列建议书^[6]提出了 ISDN 的概念、术语、模型化方法、业务能力、网络概貌和功能、用户网络接口以及网络互连等。这个建议书对各国

ISDN 的规划起了指导作用,同时也有力地协调了各国对 ISDN 的研究工作。

CCITT 的 I 系列建议书为 ISDN 提供了一组标准多用途用户网络接口。同一个用户网络接口可以适应不同业务的终端,而同一终端也可以用于不同地点的接口上。

I 系列建议书还定义了几种标准**通路** (channel),即 B 通路、D 通路、E 通路和 H 通路。B 通路是 64 kb/s 的通路,用来传送用户信息(如 PCM 单路话、速率不超过 64 kb/s 的电路交换或分组交换的数据、低速率的数字信息的混合等等)。D 通路(16 kb/s 或 64 kb/s,取决于具体的接口)则主要用于控制 ISDN 业务的信令信息,也可用于传送分组交换的数据和低速的遥测信息。E 通路(64kb/s)也是传送信令信息的。H 通路则用于更高的速率,如 $H_0 = 384\text{kb/s}$, $H_{1_1} = 1536\text{kb/s}$, $H_{1_2} = 1920\text{kb/s}$ 。

对于基本访问接口,则由 $2B + D = 144\text{kb/s}$ 构成。对于基群率接口则适应于两种 PCM 基群的速率: 1544kb/s (北美标准)和 2048kb/s (欧洲标准)。前者对应于 $23B + D$,后者则对应于 $30B + D$,这里 $D = 64\text{kb/s}$ 。整个用户网络接口相当复杂,本书不再详细介绍。

从以上讨论可以看出,ISDN 并不采用分组话音通信。在 ISDN 中,电话通信是在电路交换的 B 通路(64kb/s)上以 PCM 方式进行的。

3. 以分组交换技术为主对话音数据进行综合

就在分组交换的计算机网络 ARPANET 的运行获得成功后,1971 年,美国军方即着手研究如何在分组交换网上传送话音信息。这首先还不是出于经济上的考虑,而是从军事通信的特殊需要出发的。

在军事通信方面,需要可靠的、抗毁的和可重构的通信系统。经论证,这种通信系统只能由多种分组交换网来组成^[7]。这些分组交换网包括远程分组交换网、分组无线电网、局域网以及卫星分

组交换网等。这些网络不仅要能传送数据，而且还应能提供话音业务。这是因为，在关键时刻，最快的传达命令方式往往是口授命令。实际上，口授命令还能表达出指挥员的意志与决心。

这样，分组话音通信这种新型的通信技术便出现了。我们应注意到，分组话音通信并不是单纯地采用分组交换来进行话音通信。分组话音通信是在分组交换的计算机网络中使话音和数据可以同时在网络中传送，或者说，在分组交换网中实现话音与数据的综合。

我们知道，话音的特性与数据的特性相差较大。计算机的数据具有很大的突发性，而话音信号却比较连续。数据的传输根据不同的要求可以允许有不同的迟延，而话音通信则是实时的。分组交换既然是存储转发交换，那么就必然产生一定的端到端的迟延。因此人们很自然地会提出这样的问题：用分组交换网传送实时话音是否可行？如果可行，有什么好处？

的确，对于话音通信，迟延是个很重要的问题。其实对于电路交换，端到端的迟延也是存在的。问题在于当这种迟延很小时，用户并不觉察。当使用卫星信道进行通话时，大约有 270ms 的端到端的迟延。用户可以感到有这个迟延，但通话仍能正常进行。若双方都已习惯了这种迟延，通话可以更顺利些。可见只要努力使话音信息在分组交换网上的总迟延小于一定的数值，例如 200~300ms，那么在分组交换网上传送话音就应当是可行的。

我们还可以想到，话音信号在发送端被装配成一个个分组发送出去后，由于每个分组所经历的迟延可能不同，因而在接收端被还原的话音信号就会产生失真。因此，在接收端应设置必要的缓冲区，以调整话音分组的迟延时间，使最后被还原的话音信号产生的失真尽可能地小些。这些问题本书都将陆续地进行深入的讨论。

以上的简单讨论说明分组话音通信是可行的。至于在分组交换网上传送话音可能带来的好处，则大致如下述：

(1) 使用同一个分组交换网进行话音通信和数据通信，这本