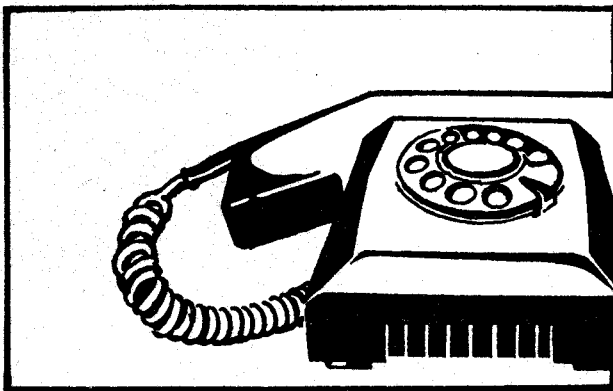
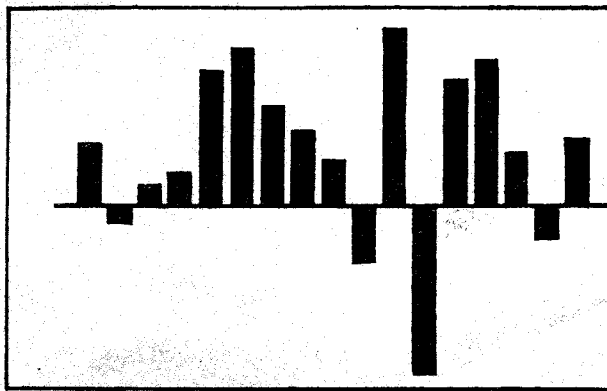
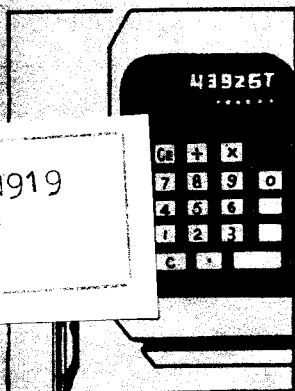


李文海编著 · 人民邮电出版社



## 内 容 提 要

本书内容是李文海同志1979年在邮电部干部学校干部学习班所作业务知识讲座的讲稿,出版前又经部分修改和补充。书中以通俗的语言讲述了以下五个问题:一,什么是数字通信?二,怎样把讲话的声音变成二进制码?其中主要介绍脉冲编码调制和增量调制及时分多路的基本原理。三,数字通信系统的组成。主要介绍数字信号传输过程中的再生中继和传输信道。四,综合数字通信网。五,数字通信发展概况及趋势。

通信技术业务知识丛书

数 字 通 信

李文海 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

轻工出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1983年7月第一版  
印张: 1 28/32 页数: 30 1983年7月北京第一次印刷  
字数: 38 千字 印数: 1-8,000册

统一书号: 15045·总2759-有5317

定价: 0.21元

## 出 版 说 明

1978年全国科学大会发出“广泛地普及科学文化知识，提高全民族的科学文化水平”的号召后，全国各地的通信部门都积极开展了学习技术业务的活动。为了帮助通信部门的领导干部和广大职工学习通信技术业务知识，更好地为实现四个现代化服务，我们正在陆续出版一套《通信技术业务知识丛书》。

这套科学普及读物大部分取材于各通信单位的技术业务学习讲座。考虑到通信部门领导干部和职工的工作需要，在内容上，除与一般科普读物一样，着重讲解一般原理概念，力求通俗易懂、深入浅出外，还适当地对所介绍的通信技术进行一些技术经济上的分析和对国外的发展情况作概括的介绍。

---

# 目 录

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| 导言                                  | (1)  |
| 一、什么是数字通信?                          | (2)  |
| 1. 讲话的声音                            | (2)  |
| 2. 模拟通信——用电来传送声音的一种方法               | (4)  |
| 3. 数字通信——用电来传送声音的另一种方法              | (8)  |
| 4. 数字通信的优点                          | (11) |
| 二、讲话的声音是怎样变成数字信号的                   | (13) |
| 1. 脉冲编码调制 (PCM) ——数字通信的一种方法         | (13) |
| 2. 增量调制 ( $\Delta M$ ) ——数字通信的另一种方法 | (20) |
| 3. 数字通信的时分多路复用                      | (24) |
| 4. 增量调制和脉冲编码调制的比较                   | (30) |
| 三、数字通信系统                            | (32) |
| 1. 终端设备                             | (32) |
| 2. 传输和再生中继                          | (37) |
| 四、数字通信网和综合数字通信网                     | (42) |
| 五、数字通信发展概况及趋势                       | (48) |

---

# 导 言

数字通信是六十年代初才出现的一种新的通信体制。随着半导体器件的发展，中、大规模集成电路的研制成功和电子计算机的广泛应用，进一步推动了数字通信技术的发展。数字通信的出现使现代通信超出了人与人之间通信的范围，实现了人与计算机之间的对话，还可以通过电话来进行各种动作的控制。更重要的是数字通信技术的发展将有可能使各种信息的通信综合于统一的数字通信网中，这为提高通信的自动化水平，为提高通信质量和效率提供了广阔的前景。通信技术向数字化方向发展，这种趋势已经是很明显的了。目前，世界上技术先进的国家在数字通信方面的发展都比较快，为使我国的通信技术能适应四个现代化的需要，我们有必要对数字通信技术的研究与发展给予适当重视。

在这本小册子中，除简单地向大家介绍电话通信的一些基本知识外，重点介绍数字通信的基本原理和数字通信系统的简单组成，最后介绍综合数字通信网的结构并概括地介绍数字通信在国外的概况和发展的趋势。

# 一、什么是数字通信？

## 1. 讲话的声音

电话是人们远距离传送讲话声音的一种工具。人们是怎样用电话进行远距离传送语声的呢？为了回答这一问题我们需要先简单地说明一下声音是怎样产生的和声音的主要特性是什么？

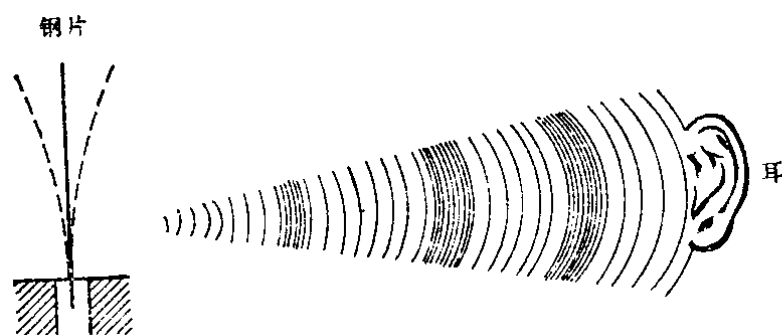


图 1 钢片振动产生声音

声音的产生原理可以从图 1 中看出。当我们用手拨动钢片时，钢片的摆动使钢片周围的空气时而被压紧，时而被放松，形成声波如图中疏密线条所示。声波向四周传播出去，传到入耳的鼓膜时，鼓膜受时疏时密的空气的压缩和放松使人的大脑产生一种感受——即听到了声音。同样，人们说话时声带的振动也会使口腔周围的空气发生时疏时密的变化，通过空气传播到人们的耳朵，人们就听到了讲话的声音。

平常我们说声音大声音小，或者声音尖声音粗，又是怎么回事呢？要说明这个问题先要介绍两个名词，一个叫“振幅”，一个叫“频率”。请看图 1，空气被压缩时有疏密程

度的不同，或者说是疏和密的差别有大有小，这个差别越大，就是声波的振幅越大，听到的声音也就越大；如果疏密差别小，就是声波的振幅小，听到的声音就小。所谓声波的频率是指空气疏密波变化的快慢，疏密波变化快就是频率高，听起来声音就尖，相反，疏密波变化慢就是频率低，声音就粗。

频率的单位是“赫”，一秒钟变化一次就叫做1赫。从人讲话的声音实际测试的结果中可以知道，人类的语声包含各种不同的频率，其主要成分的频率在300赫~3400赫之间。

声音是可以听到的，但声波是什么样子的，能不能看见呢？简单地用眼睛去看是看不见的，但是可以用仪器把它显示出来。在仪器上显示出来的声波，是像水的波纹那样的波形，虽然它不是声波的真正的样子，但也可以看出声波对空气的压力随着时间而变化的情况。譬如发出一个“啊”字的声音

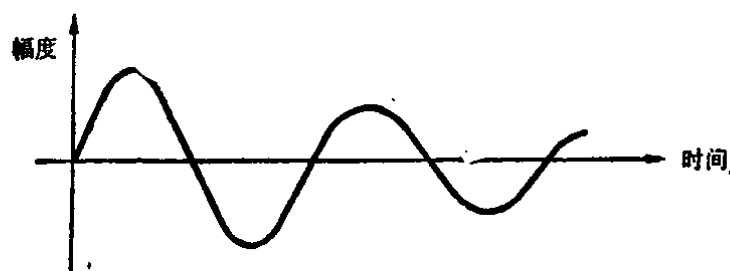


图2 “啊”字的波形

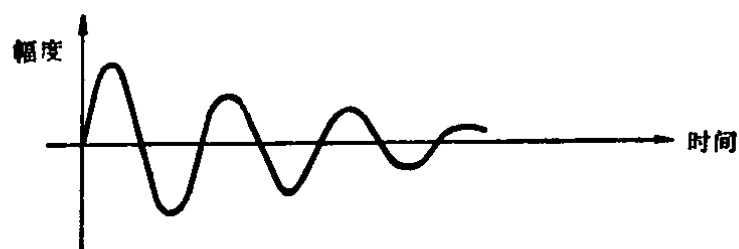


图3 “衣”字的波形

音，仪器上就出现像图 2 那种样子的波形。如果发出一个“衣”字的声音，又出现像图 3 那样的波形。如果讲一句话，当然，声波的样子要复杂得多，可能像图 4 中画出的那样。

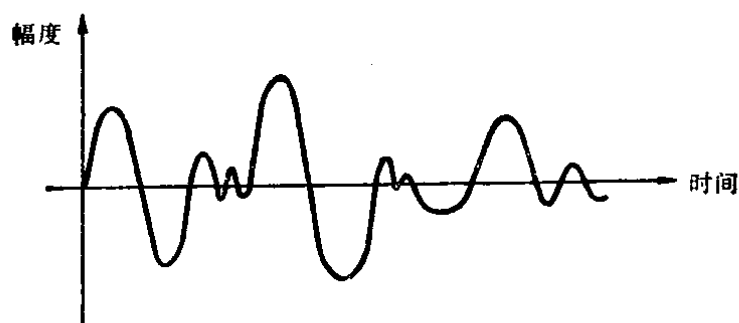


图 4 语声的波形

## 2. 模拟通信——用电来传 送声音的一种方法

大家知道，说话的人距离听话的人越远听到的声音就越小，离得很远就听不见了，这是由于语声疏密波在空气中传播有衰减所造成的。所以只靠空气传播声音是不可能传得太远的。一百多年前，美国人贝尔第一次实现了用“电”来传送声音。他和他的助手用特制的喇叭和金属导线相连接，在这间屋子里听到了另一间屋子里对方的声音，这就是世界上最早的电话。

为什么用电话就可以把声音传远呢？它的基本原理是什么？

请看图 5，图中发送端的那里有一个送话器，它是由一个膜片和带有两个电极的盒子所组成的。在盒子中装满了碳精粒，碳精粒是可以传导电流的，这许多碳精粒被压得越紧密，电阻就越小，图中所画出的电流也就越大。当人们对着

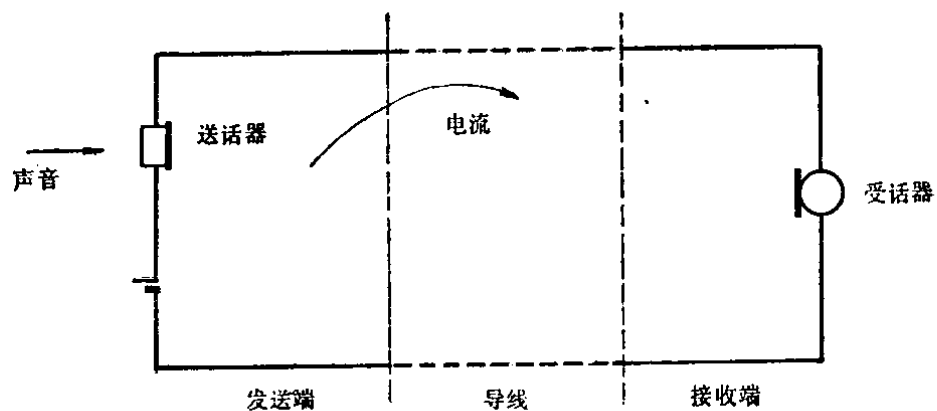


图 5 电话通信系统组成简图

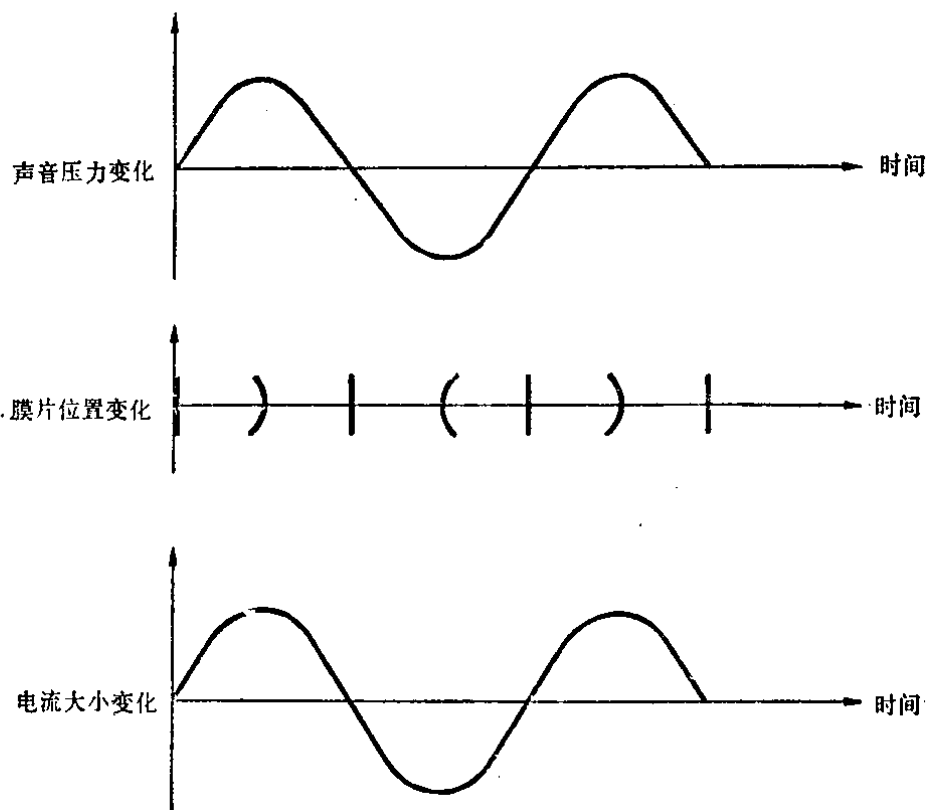


图 6 电流随声音变化的模拟过程

膜片讲话时，空气的疏密波的变化会使膜片时而压紧碳精粒，时而放松碳精粒。因而，图中导线上的电流就随着声音的大小和快慢而变化。这个变换过程可从图 6 中看出来。

从图中可以看出，通过送话器可以把由声音引起的空气

压力的变化变成了电流的变化。这种变化就叫 **声电变换**。由于电流在金属导线中受到的阻力很小，所以能够作远距离的传送。从图中还可以看出，代表电流变化的曲线与代表声音压力变化的曲线，样子是一样的。我们说，这是一个模仿过程，也叫模拟过程，也就是用电流的大小来模拟声音的压力变化的过程。而在导线中所传送的则是模拟压力变化的电流，所以这种通信方式就叫“**模拟通信**”。

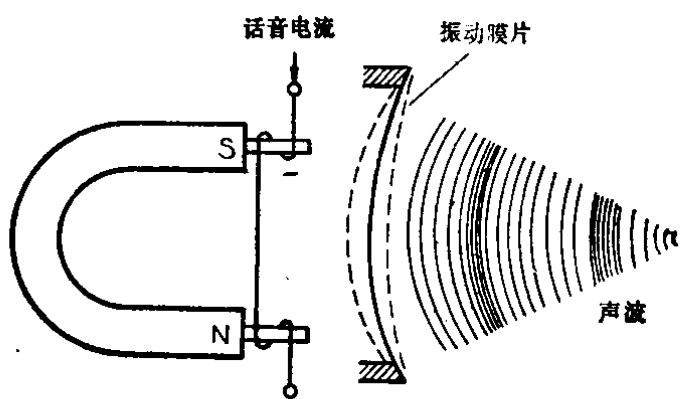


图 7 受话器工作示意图

模拟语声的电流信号传送到对方怎样再变成声音呢？这个工作是由图 5 中所画的受话器来完成的。受话器是由一个绕有导线的磁铁和一个振动膜片组成，如图 7 所示。由发送端送来的电流信号通过绕在磁铁上的导线就会使磁铁的磁力随电流的大小而变化，磁铁又吸动膜片产生振动，这个振动压缩了空气使空气产生疏密波变化，就又发出了和原先讲话一样的声音。这个变化过程如图 8 所示，这种变换叫做电声变换。

从上述的简单电话通信过程可看出：一个电信系统的构成必不可少的要包括如图 9 所示的五个部分。

发信者：它可以是人，发出语声信号；也可以是某种发送装置发出各种信号。

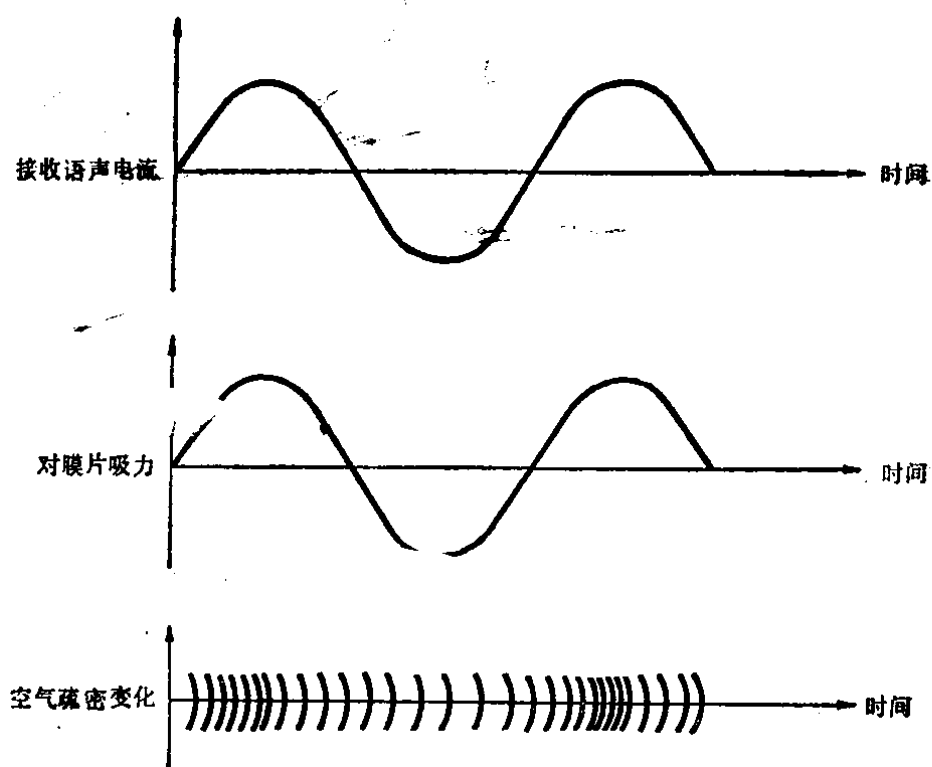


图 8 受话器电-声变换图解



图 9 电信系统构成

**变换器:**可以是声电变换(例如电话机上的送话器),也可以是包括声电变换的其它变换装置。它的作用就是把声音信号变换成适合于在信道上传输的电信号。

**信道:**就是传送信号的媒介。一般讲它包括明线线路、电缆线路和空间(无线电通信信道)。

**反变换器:**反变换器的作用刚好与变换器的作用相反,它是把电信号还原成原来的声音信号以使受信者能够接收(例如电话机上的受话器)。

受信者：可以是人，也可以是接收消息的某种装置。

除以上几个部分外，信号在传送过程中还难免要受到噪声和干扰的影响，这种噪声和干扰，我们希望它越小越好，因为它会使我们听不清对方的讲话或使传送的电码变码，所以要使通信系统对噪声和干扰有一定的抗御能力。这在通信术语中叫做抗干扰性。

### 3. 数字通信——用电来传送声音的另一种方法

除了上面所介绍的模拟通信之外，还有一种是数字通信。数字通信是用数字信号来传送讲话的声音。什么叫数字信号呢？要回答这个问题，我们先从电报说起。我们从电影上或者从收音机中可听到打电报时总是响起“滴滴打打”的声音，这个“滴”和“打”的声音代表了一些电码，这些电码就表示了所要传送的消息。我国的电报是利用四个阿拉伯数字编成一组来代表一个汉字的。例如，“0022”代表“中”字，“0948”代表“国”字；每一个数字又用不同的“滴”“打”的组合来表示。“1”用“滴打打打打”表示，“2”用“滴滴打打打”表示，等等。电键接触的时间短就发出“滴”的声音，电键接触的时间长就发出“打”的声音，这不同的滴和打凑在一起代表不同的字母、数字和符号，其中常用的是人工电报莫尔斯电码。

电传打字电报机使用的是五单位电码。电码以导线中的“有电流”或“无电流”来表示，导线中“有电流”和“无电流”就构成了电的脉冲。五单位电码就是五个“有”“无”电流脉冲的组合，在电报通信中有脉冲叫做“传号”，无脉

冲叫做“空号”。每个“传号”和“空号”所占的时间都是20毫秒。“传号”和“空号”的表示如图10。

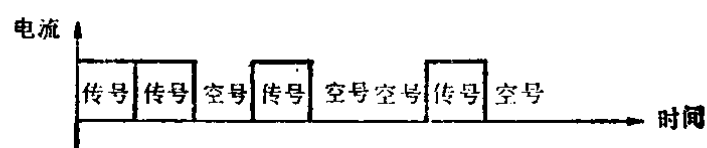


图 10 电报信号的传号和空号

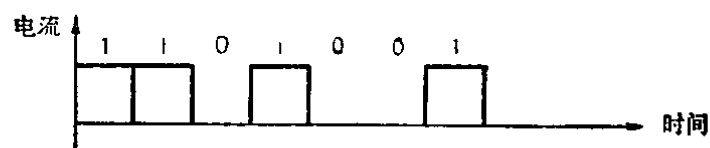


图 11 “11000” 数字信号表示

在通信技术中的“有脉冲”和“无脉冲”这两种状态又通常用“1”和“0”来表示。例如在五单位电码中的“11000”，它所对应的图形如图11 “11000”代表阿拉伯数字“1”，“00011”代表“2”。因此，用不同组合的五单位电码就可代表由0到9十个阿拉伯数字。正像前面所说，每个汉字用四个数字代表，每个数字又用五个不同的1和0组合的电码来代表，所以传送一个汉字就需要传送二十个1和0，当然还需有些间隔。

在通信技术中，像这种由1和0组合的信号属于数字信号，又因为它只有1和0两个数（或两种状态），所以叫做二进制数字信号。电传电报就是用二进制数字信号来传送文字消息的。

其实，用数字信号来传送消息并不是新奇的事。在古代已有很多用数字信号来传送消息的例子。当我们登上象征着我国古代劳动人民的勤劳和智慧万里长城时，我们可以看到每隔一段距离就有一个平台，叫做烽火台。烽火台就是用1或0二进制数字信号来传送消息的。例如，在烽火台上点燃火

堆(相当于有电流或 1)就表示有外敌入侵,不点燃火堆(相当于无电流或 0)就表示平安无事。航海中使用的“旗语”和“灯光信号”也同样是用数字信号形式来传送消息的。

用数字信号可以传送文字消息,也可以传送事先约定的其它消息,如入侵,救援等。可是能不能用数字信号传送说话的声音呢?由于通信技术的发展,用数字信号传送语声消息已经成为现实,这就是语声的数字化传输。从广泛的意义上说,用数字信号传送消息的通信方式都可以叫做数字通信。具体地说,电报通信,数据通信(传送计算机信号或控制信号的通信方式)等都是专门的数字通信系统,而我们这里所讲的数字通信仅指把语声变成数字信号来传送的数字通信。也就是将语声的电模拟信号先变成二进制的数字信号再送到线路上加以传输的这种通信方式。数字通信的全过程是这样的(见图 12):在发话端,人们讲话的语声经由送话器进行声电变换后,变换成了电模拟信号,再经模拟数字转换设备将模拟信号变成二进制数字信号送到线路上去。在接收端,二进制数字信号又经过数字模拟转换设备还原成电模拟信号,最后再由受话器把电模拟信号进行电声变换变换成语声。

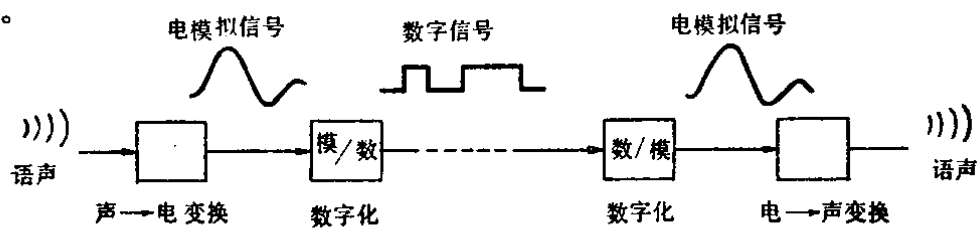


图 12 数字通信示意图

请比较一下图 9 和图 12, 可以看出模拟通信和数字通信的区别, 仅仅在于在数字通信中多了一次由模拟变数字和由数字变模拟的变换。大家可能会问, 既然模拟信号可以实

现通话，为什么还要“多此一举”中间插入数字化呢？因为，数字通信与模拟通信相比较有许多优点。

## 4. 数字通信的优点

(1) 在传输过程中，传输数字信号比传输模拟信号的抗干扰能力强。任何信号经过信道传输都会使信号的幅度受到衰减并叠加噪声。为了能正常通信，被衰减的信号应该给予补偿。在传输模拟信号的情况下，只能用增音放大的办法补偿，例如载波电话的增音机就是做这个用的。而传输数字信号时却可以采用再生复制的方法来进行衰减的补偿。两种信号传输的情况可如图13所示。

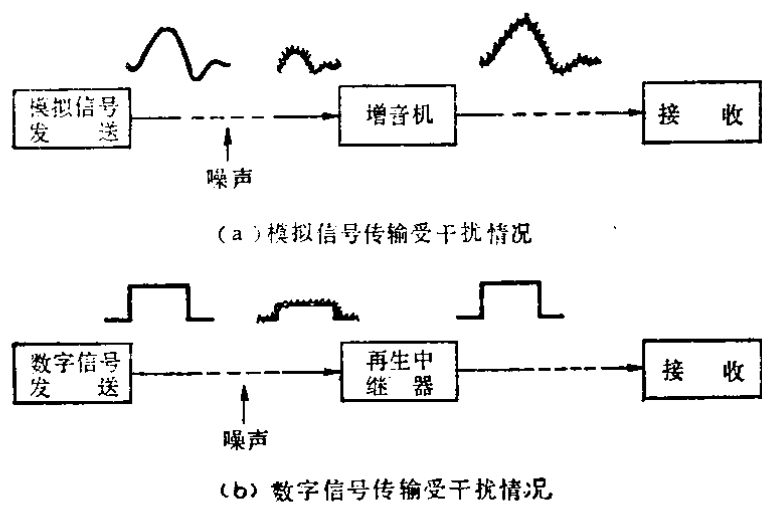


图 13 两种信号传输受干扰的情况

由图中可以看出，传送模拟信号时，增音机把接收到的已经衰减了的信号连同噪声一齐放大了。这时，噪声不但没有从信号上去掉，反而与信号一齐被放大。传输距离越远，积累的噪声也就越大。传输数字信号时，再生中继器的作用是把信号重新形成。数字信号经过线路传输到达再生中继器的输

入端时也是带有噪声的，但因数字信号是二进制的，只有两种状态（即 1 或 0）在再生中继器中只要对信号进行识别判决就可以了。即，当信号超过规定接收信号一半时，就判为“1”，不够一半时就判为“0”。经过这个判决以后就可按所作的判断重新形成新的数字信号，这样就消除了干扰噪声。这个过程，每经过一个再生中继器就重复一次。因此，进行数字信号传输时，噪声是不会积累的。所以说数字信号的传输较模拟信号的传输具有更高的抗干扰能力。

（2）数字通信保密性强，有利于传送保密电话。由于电话信号经数字化处理之后已经变成了由许多 1 和 0 组合而成的数字信号，原来语声信号的形状和结构已经改变了，所以直接收听是听不懂的。另外，把所传送的数字信号稍做变化和处理就可达到具有高保密度的加密电话的要求。

（3）数字通信是用数字信号传送消息，便于与自动控制系统和电子计算机配合使用，对所传输的数字信号便于存储，处理和交换。

（4）数字通信设备的电路便于采用集成电路，设备易于固体化和小型化，可以降低成本。

看来人们从三十年代就已经潜心于脉冲编码方式的数字通信的研究决不是偶然的，并在 1937 年发明了脉冲编码通信的原理，但限于当时的技术条件而无法实现。直到发明了半导体晶体管以后，在 1962 年才首先实现了 24 路的脉冲编码通信方式。

## 二、讲话的声音是怎样 变成数字信号的

用数字信号传输语言消息通常有两种方式：一种叫“脉冲编码调制”，通常用英文字母PCM表示；另一种叫做“增量调制”，用 $\Delta M$ 表示（ $\Delta$ 读作“德尔它”，在数学中常用来表示一个很小的量）。下面分别叙述它们的基本原理。

### 1. 脉冲编码调制 (PCM) —— 数字通信的一种方法

用脉冲编码方式实现语声数字化通信的过程方框图，见图14。

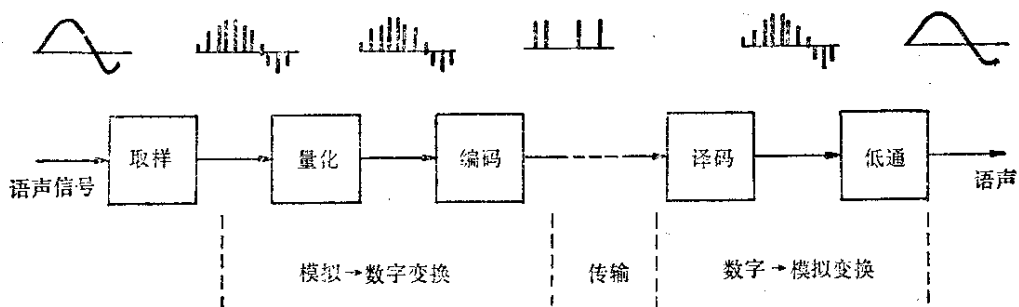


图 14 脉冲编码实现过程方框图

由图中可以看出，在脉冲编码通信中，讲话的声音经过送话器进行声电变换后变成的电模拟语声信号首先经过取样，量化，然后进行编码，成为数字脉冲信号。在接收端，经过译码和低通滤波器，又将数字信号还原成语声信号。

（1）取样和量化：在这里我们将要说明：什么是取样