

传真通信原理

南京邮电学院 编

下册

传真通信原理

下 册

南京邮电学院 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是继《传真通信原理》上册之后,为适应传真通信高速化和数字化发展的要求而写的。

书中介绍了传真二类机和三类机的概况,讲解了概率、信源和信源编码等基础理论,并详细介绍了数字化频带压缩方式和种类以及传真信号的各种编码方式。最后对三类机作了实例介绍。

本书既着重讲解基本原理又对实际应用作了深入浅出的叙述,因而便于读者自学。

本书可供高等院校有关专业的师生和从事传真通信工作的工程技术人员使用。

传 真 通 信 原 理

下 册

南京邮电学院 编

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

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

1985年2月第一版

印张: 8 页数: 128

1985年2月河北第一次印刷

字数: 182 千字

印数: 1—8,700册

统一书号: 15045 · 总2950—有5384

定价: 1.05 元

前 言

随着传真应用范围的扩大，特别是在需要大量交换文字、表报等信息的时候，迫切要求传真通信朝着高速化和数字化的方向发展。因而，近年来具有较高传输速度的（文件传真）二类机和（文件传真）三类机的发展很快。本书着重讲二类机和三类机的基础理论、基本原理，同时也结合实际，深入浅出地就这两类传真机的基本技术作了介绍。本书可供高等院校有关专业师生和从事传真通信工作的工程技术人员参考使用。

本书共分六章。第十一章主要介绍二、三类传真机的技术和发展；第十二章介绍二类机的频带压缩原理、调制解调方式以及二类机的实例等；第十三章介绍数字传真的理论基础；第十四章介绍数字化频带压缩的基础；第十五章介绍一维改进的霍夫曼码、改进的READ码等各种编码方案；第十六章结合实例介绍三类机（数字传真机）的组成和各部分的作用原理。

本书系由我院204教研组朱梅英老师执笔。在编写过程中，得到了邮电部第七研究所、数据通信技术研究所、电信传输研究所等单位有关同志的大力支持，谨此表示衷心感谢。

限于水平，书中缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

南京邮电学院

1983年12月

目 录

第十一章 二类传真机与三类传真机的产生和发展 ·····	(1)
11.1 概述·····	(1)
11.2 二类机的技术和发展·····	(3)
11.3 三类机的技术和发展·····	(7)
第十二章 二类机 ·····	(10)
12.1 概述·····	(10)
12.2 二/三值变换·····	(15)
12.3 几种典型信号的分析·····	(20)
12.4 调幅调相 (AM-PM) 方式·····	(33)
12.5 三值调幅残余边带方式的信号接收·····	(41)
12.6 二相调幅调相残余边带方式的信号接收·····	(50)
12.7 二类机的实例介绍·····	(56)
第十三章 数字传真的理论基础 ·····	(62)
13.1 概率·····	(62)
13.2 不肯定程度·····	(74)
13.3 信息量·····	(91)
13.4 信源·····	(93)
13.5 信源的剩余·····	(97)
13.6 信源编码·····	(101)
第十四章 数字化频带压缩的基础 ·····	(113)
14.1 传真信号的数字化·····	(113)
14.2 传真信号的统计性质·····	(116)

14.3	传真信号的模型化和信息量.....	(140)
14.4	频带压缩方式的分类和组成.....	(158)
第十五章	传真信号的编码举例.....	(163)
15.1	Wyle码	(164)
15.2	二行一起处理的游程长度编码.....	(165)
15.3	相对地址编码 (RAC)	(167)
15.4	一维改进的霍夫曼码 (MHC码)	(173)
15.5	READ码	(180)
15.6	R_2 码	(190)
15.7	IBM码	(194)
15.8	改进的READ码	(199)
15.9	简单码型.....	(207)
15.10	预测编码和适应性编码的概念	(209)
15.11	选择编码方案的准则和评定标准	(212)
第十六章	三类机的实例介绍.....	(216)
16.1	概述.....	(216)
16.2	方框图.....	(222)
16.3	数字传真实验装置的组成及各部分的作用和 原理.....	(222)
附录		(245)

第十一章 二类传真机与三类传真机的产生和发展

11.1 概 述

本书主要介绍二类传真机（简称二类机）、三类传真机（简称三类机）的有关内容。关于二类机、三类机的概念已在《传真通信原理》上册的第一章里作了简要说明。这里再将CCITT（国际电报电话咨询委员会）关于一、二、三类机的定义介绍如下：

第一类：凡是采用双边带传输，其发送信号不采取特殊压缩措施，并能在电话电路上，按标称值为每毫米4线的扫描密度，约在六分钟内传送一份ISO（国际标准化组织）A₄（标称尺寸为210mm×297mm）文件的传真设备称作一类机。

第二类：凡是采用频带压缩技术，达到约在三分钟内在电话电路上按标称每毫米4线的密度，传送一份ISO A₄文件的传真设备称作二类机。

这里所说的频带压缩包括码化和残余边带传输，但并不包括将文件信号经过特殊处理以减少其多余度的措施。

第三类：凡是在调制前具有减少文件信号多余度措施，并在电话电路上约在一分钟内传送一份ISO A₄文件的传真设备称作三类机。

传真通信就是可以在一定距离内利用扫描技术传输固定图

象（相片或其它图形）的通信系统。经过该系统传送的图象能够在收端得到满意的重现；它能够传送各种类型的信息，包括电传机无法传送的照片、图形、表报等；并能够获得可以永久保存的复制品。近年来不少国家又在公用电话交换网上开放了传真业务，这就更加促进了传真机的广泛使用。但是，还有一些妨碍传真通信大量发展的因素，例如传输速度慢、操作费时、传真交换还存在问题等。目前传真设备自动化程度正在不断提高，有的甚至已能做到无人值守。但随着传真应用范围的迅速扩大，特别是在需要大量交换文字、表报等信息的今天，迫切要求传真通信朝着高速化方向发展，提高传真通信的传输速度（或缩短传输时间）成了迅速发展传真通信的关键问题，这就促使了具有较高传输速度的二类机（又称中速传真机）和三类机（又称高速传真机或数字传真机）的产生，而二类机、三类机的产生又大大地推动了传真技术的发展，使传真通信展现了更加广阔的前景。

如何实现传真通信的高速化呢？

早期研制的高速文件传真是在宽带电路（占载波话路的一个基群或一个超群）上传输的。采用在宽带电路上传输的办法来实现高速传输，需要占用的话路数目太多，而且在需要传送文件的地方也不一定都有宽带电路，因而不便于普及。尽管需要用宽带电路传输的高速多路传真机在某些场合仍有其存在的必要，但就一般意义来说，采用增加通频带宽度的办法来提高传输速度并不是解决问题的好办法。解决问题的办法是要在一个有限带宽的话路上以不影响质量为前提，高速度地传输传真信号。这就是说，首先要解决在公用电话交换网中单路文件传真机的传输速度问题。在发送原稿的尺寸和扫描线密度一定的情况下，要提高传输速度就要扩大通频带宽度。但是，一个话

路的传输频带被限制在300~3400赫，所以，要提高传真通信的传输速度，办法只能是采用频带压缩技术。二类机、三类机就是在这种条件下诞生和发展起来的。

11.2 二类机的技术和发展

二类机采用多值、多值残余边带或高效率调制残余边带传输方式实现频带压缩，从而有效地利用了传输频带，提高了传真通信的传输速度。归纳起来，用于二类机的频带压缩方式有以下三种：

1. 三值—调幅—残余边带 (3L—AM—VSB) 方式；
2. 三值—调频 (3L—FM) 方式；
3. 调幅—调相—残余边带 (AM—PM—VSB) 方式。

其中，调幅调相残余边带方式能在信噪比较差的情况下仍有较好的接收质量，现已被CCITT推荐为二类机的标准制式。

七十年代以来，二类机的发展速度很快，至今已经大量使用，现在正继续研制更高速度的二类机。例如，目前不少二类机都具有了“跳白 (Skipping white)”性能，这能使传输时间减少约三分之一。

一般来说，文件传真的图象只有黑、白二种颜色，黑色信号印在 (或写在) 白纸上，构成图象。分布在白纸上的黑色信号的数量，通常只占图象总面积的很小部分，图象的绝大部分则是白色的。不难想象，如果跳过大片白色部分，只传输那些有黑色部分的黑白信号，就必然会减少被传输的象元数目，从而提高图象传输的速度。现就“跳白”的基本原理说明如下：

“跳白”一般都是通过某种编码方式来实现的，该编码方式叫做空白编码或白块 (段) 跳过 (White Block Skipping) 编

码。

一、一维空白编码

这种方法是将每一扫描行分成若干段，每一段包含 N 个象元，然后根据这段象元的具体情况分别给予不同的码字。如果该段 N 个象元全是白的（全白段），这一段只用一比特的码字“0”来表示。对于不全是白象元的段（非全白段），即便是只包含一个黑象元，也都用 $N+1$ 比特的码字来表示。这 $N+1$ 比特的码字中，第一个比特用“1”代表，其余的 N 比特和 N 个象元相对应，每一个象元用一位二进码（白=0，黑=1）来表示。例如 $N=10$ ，段的码字如下表：

表 1.1 空白编码的编码表

象 元 (10个)	码 字
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
0 0 0 0 0 0 0 0 1 0	1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
⋮	⋮
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

这里，之所以要在非全白段的前面添一个符号“1”是为了构成非延长电码，否则一串码字连起来就无法确切地再把它们分开。

这种编码方式的压缩比

$$C_F = \frac{1}{1 + \frac{1}{N} - P_N} \quad (11.1)$$

式中： N 为每段的长度（象元数），

P_N 为全白段的概率。

可见，空白编码的压缩比和段的长度 N 、全白段的概率 P_N （或非全白段的概率）有关。此外，不难想象它还与传真机的分辨力（扫描线密度）有关。

对于给定的一页文件，或者一种类型的文件，可以通过统计，找到一个使压缩比为最大的 N 值，因此不同类型的文件有不同的最佳 N 值。对于典型的图象（例如打印信件、气象图等），在分辨力约为4线/毫米的情况下， N 约等于10为最佳。实验证明，在一定范围内， N 值对空白编码压缩比的影响不大。例如传送一幅晶体管电路图，令 $N=8$ 、12、14、16与令 $N=10$ 这个最佳值相比较，其压缩比下降得很小。

二、二维空白编码

二维空白编码是把要传送的图象分成若干块，每块含有 $M \times N$ 个象元。一个全白块用一比特的码字“0”来表示，而非全白块用 $(MN+1)$ 比特的码字表示，第一比特为“1”，其余的 MN 比特和 MN 个象元一一对应。

二维空白编码的压缩比要比一维空白编码的压缩比大，但需要存储的象元数多，设备也相应要复杂些。

三、适应性空白编码

大多数编码，包括空白编码，采用和图象统计特性相适应的适应性编码方法后，都可以获得更高的传输效率。现就空白编码的适应性编码问题介绍如下：

在一种一维空白编码方法（有的称它为改进的空白编码方法）中，对全白扫描行进行特殊处理，即用一比特的码字“0”

来表示一个全白扫描行，而对于即使只包含一个黑象元的非全白扫描行，首先发送一个“1”，随后发送的是按照上述空白编码规则给出的码字（和该扫描行的各象元一一对应）。这种方法对于传送包含大量全白扫描行，象电文之类的图象来说，是十分有效的。

对于空白编码，我们知道不同类型的文件有不同的最佳 N 值。但是，文件传真不能只针对某一类型的文件，那么 N 值应该如何决定呢？典型的办法是使 N 具有一定的适应性，根据不同的情况取不同的值。例如，每行决定一个 N 值。首先看一下这一行的象元是不是全白色的，如果是，令

$$N = \text{一行的象元数};$$

如果不是，再看看这一行有没有较多的，比方说64个连续是白色的象元，如果有，令

$$N = 64;$$

如果没有，再令 N 小些，例如令

$$N = 16;$$

或

$$N = 4;$$

如果在这一行中连续的白象元数只有三、四个或是数量极少，那就干脆不编码。根据上述原则，在每一行码字之前，都应加上一个代码（码字），以表示这一行的 N 值是多少。

显然，这种具有适应性的空白编码，可以获得较大的压缩比，但却增加了设备的复杂性。

近几年来，由于大规模集成电路的飞速发展以及微处理器的出现和大量运用，大大地促进了二类机的发展，微处理器在具有跳白性能的二类机上的应用，使二类机的传输速度得以进一步提高；同时，大规模集成电路和微处理器在二类机上的应用也能提高其自动化程度，甚至使二类机具备更加完善的性能，

如使符合 CCITT 规格的二类机能同一些早先生产的、不符合 CCITT 规格的其它传真机进行互通等。

11.3 三类机的技术和发展

三类机是以数字信号进行传输的传真机，所以又经常称之为数字传真机，它以图象的统计特性为理论基础，对传真信号进行数字化编码，以削减传真信号的多余度，从而提高传输效率。具体的编码方案、码字的组成形式很多，但原则上均按概率分布分配长短不同的码字。例如游程长度编码 (Run Length Coding, 简称 RL 编码)，给概率大 (出现频次多) 的游程分配较短的码字，而给概率小 (出现频次少) 的游程分配较长的码字。

对图象信号进行数字化编码是传真技术发展的方向。这是因为数字传真机的压缩比高，抗干扰性强，而且可以采用分组交换技术，便于加密等。另外，数据通信也是今后社会信息传输的方向，特别是信息的存储、处理、交换和加密等均需要使信息数字化。传真机的发展当然必须考虑这一前景。为此，CCITT 在确定三类机的制式标准时，特别是在控制程序里，就已经较充分地考虑了同数据通信相结合的这一因素了。

目前电子计算机已广泛应用于各行各业，利用计算机对传真图象信息的处理亦不例外，这也需要传真信息的数字化。反过来，传真信号数字化后，又使传真机可以作为电子计算机的外部设备，用于输入图象和记录图象，从而使传真技术跨入了更加广泛的领域，为传真通信的应用开拓了更加宽阔的前景。

随着大规模集成电路技术的迅速发展，微处理器工业作为微电子学的精华已成了计算技术发展的一股新生力量。在国外

除被迅速推广应用到军事、工业、日常生活的各个领域之外，还应用到各种玩具中，可以说微处理器的使用已渗透到人类的全部领域，因此，微处理器在传真机上，特别是在数字传真机中的应用将显得格外重要，它的应用对传真技术的普及也将具有重要意义。应该说，将微处理器用于传真是一项应该予以注目的技术动向。

近几年，由于越来越多的三类机使用了微处理器，因而使其性能更完善，发展速度也更快。微处理器在三类机上主要应用在以下几个部分：

总机控制系统部分；

数据压缩及扩张部分（即编、译码部分）；

调制解调部分；

误码纠错重发部分；

扫描线密度的自动调整及信息存储部分；

步进电机的驱动部分等。

由于大规模集成电路和数据通信的迅速发展，最近几年又开始了四类机的研制，四类机可以说是三类机的继续和发展。现在，CCITT已经收到了一些关于四类机的文稿，它将在下一研究期成为CCITT第十四研究组的讨论重点。现在对文件传真四类机已经作出定义，规定它是一种利用减少文件信息多余度，并优先考虑在公用数据网上使用的设备。它采用适于公用数据网的规程，并保证无误码地接收文件。当采用适当的调制解调方式时，也可以在公用电话网上使用。

虽然，传真技术的发展将以数据压缩的高速传真机（三类机、包括四类机在内）为重点。但是，现阶段还不能忽视二类机的使用和发展。尽管二类机的压缩比不如三类机大，但它毕竟比一类机要先进，和一类机相比，虽然技术上稍复杂一些，

但它们基本上是属于同一范畴的。因而二类机的成本并不比一类机高很多。在器件、技术条件等受到限制的情况下，发展和推广使用二类机是比较实际的。为了适应使用单位对传输速度越来越高的要求，还要不断采用新技术，以进一步提高现有二类机的传输速度。在原有二类机的基础上加上空白编码的应用是一个值得注意的动向。当然，从长远的观点和今后的发展趋势来说，数字传真机无疑将是传真技术的发展方向。

第十二章 二 类 机

12.1 概 述

二类机和一类机相比，由于二类机对传真信号的波形进行变换，并削减了信号在传输上的多余度（压缩其在传输线路上占用的频带宽度），从而有效地利用了传输频带，使传输速度比一类机提高一倍。一类机传送 A_4 大小的一页文件需要六分钟，而二类机只需要三分钟。同三类机相比，虽然传输时间还比较长，但是，二类机采用的电路比较简单，所以成本也较低廉。

在二类机中，实现频带压缩以有效利用传输频带的方式有多值传输和高效率调制等。多值传输有三值调幅残余边带传输和三值调频二种方式，高效率调制是指二相调幅调相方式。

一、三值调幅残余边带方式

三值调幅残余边带方式是早期实现的一种频带压缩方式。这种方式是将黑白传真信号的“0”、“1”二值信号电平中的“1”电平进行变换。如以黑色信号为“0”电平，白色信号为“1”电平，把白色信号交替地变换为“+1”和“-1”，也就是将二值的传真信号变换成三值信号，而后去调制载波信号的幅度，在接收端以三值信号的“0”电平为中心，进行全波整流（或双向判决整形）恢复出原来的传真信号。

将二值信号变换成三值信号后，由于信号的功率谱变窄，

约为原来的二分之一，因而获得了频带压缩的效果。对于1:1的周期信号，实行二/三值变换后，频带压缩率〔*〕可达100%。但是，实际上传真信号是随时间变化的无规则信号，当传输那些和原稿上的孤立细点、细线所对应的信号时，需有较宽的通频带。因此，实际的频带压缩率取决于原信号的统计性质，一般在70%左右，只有应用了残余边带传输技术才能使频带的压缩率提高到100%，使二类机的传输速度比一类机提高一倍。但是，采用残余边带传输技术后，因为传输边带不对称而产生的正交分量，将使调幅波的包络产生失真，所以，二类机在收端不宜用包络检波的方法来恢复原传真信号，而需要采用同步检波法来进行解调。

从理论上来说，采用更多值的调制方式将可获得更高的频带压缩率，但是这样一来，信噪比将大大降低，设备的复杂性也会相应增加。

二、三值调频方式

这种方式首先也是将二值的传真信号进行二/三值变换，然后用三值信号去调制载波信号的频率。当“+1”、“0”、“-1”三种电平的信号输入到调频器时，调频器则分别输出 f_1 、 f_0 、 f_2 三种不同频率的信号，其中 f_0 赫代表黑信号，与“0”电平相对应； f_1 （ $=f_0 - \Delta f$ ）赫和 f_2 （ $=f_0 + \Delta f$ ）赫均代表白信号， f_1 、 f_2 分别与“+1”、“-1”的电平相对应。在收端经鉴频后获得三值信号，再通过三/二值变换，恢复为原传真信号。

〔*〕 这里，频带压缩率的含义与习惯的定义方法不同，指的是被压缩掉的那部分频带宽度和信号传输带宽的比值。