

数 字 信 息 传 输
基 本 原 理

國 防 工 業 出 版 社



51.021

139

数字信息传输基本原理

孔宪正 编

国防工业出版社

内 容 简 介

数字通信领域很宽，本书主要介绍数字信息传输问题。内容包括数字通信概貌、数字信息传输系统的指标、数字波形传输方式、差错控制原理、同步问题等。

本书读者对象是从事这方面工作的技术工人，初中级技术人员，技术管理干部及有关专业工农兵大学生。

D-179/17

数字信息传输基本原理

孔 宪 正 编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

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

787×1092¹/₃₂ 印张 8¹/₈ 170千字

1976年10月第一版 1976年10月第一次印刷 印数：00,001—22,000册

统一书号：15034·1512 定价：0.67元

目 录

第一章 什么是数字通信	9
§ 1-1 各种消息是怎样转化成数字的	9
§ 1-2 数字通信系统的组成	13
§ 1-3 数字通信的特点	18
第二章 数字信息传输系统的好坏怎样衡量	21
§ 2-1 传输速度	21
§ 2-2 差错率	24
§ 2-3 可靠度	26
§ 2-4 适应性及使用维修性	27
§ 2-5 经济性	27
§ 2-6 通信建立时间	28
§ 2-7 标准化	28
第三章 怎样发送数字信息	30
§ 3-1 数字波形传输系统基本组成	30
§ 3-2 数字波形的种类	33
§ 3-2-1 以正弦波为基础的数字波形	33
§ 3-2-2 以脉冲波为基础的数字波形	37
§ 3-2-3 脉冲波与正弦波组合的数字波形	38
§ 3-3 基本的数字波形的产生	40
§ 3-3-1 波形产生器的基本部件	40
§ 3-3-2 几种基本数字波形产生器	43
§ 3-4 数字波形相关系数及频谱	47
§ 3-4-1 波形相关系数	48
§ 3-4-2 数字波形的频谱	51

第四章 信道与干扰问题	61
§ 4-1 信道与干扰情况概述	61
§ 4-1-1 关于信道	61
§ 4-1-2 关于干扰	64
§ 4-2 恒参信道	65
§ 4-2-1 线性四端网络的描述	65
§ 4-2-2 奈奎斯特定理	70
§ 4-2-3 通过恒参信道的数字波形举例	72
§ 4-3 变参信道	76
§ 4-3-1 信道衰减随时间而变——衰落	77
§ 4-3-2 信道传输延时随时间而变——多卜勒频移	79
§ 4-3-3 多径传播的效应——频率选择性衰落及波形展宽	80
§ 4-3-4 变参信道的改造——分集接收	83
§ 4-3-5 通过变参信道的数字波形举例	86
§ 4-4 相加性干扰	89
第五章 怎样接收数字信息	93
§ 5-1 “波形识别器”的种类	93
§ 5-2 最粗糙的波形识别器	95
§ 5-2-1 AK波形的接收	95
§ 5-2-2 FSK波形的接收	98
§ 5-3 相干识别器	100
§ 5-3-1 相干识别器的结构	100
§ 5-3-2 相干识别器的组成部件	102
§ 5-3-3 提取相干载波的方法	105
§ 5-4 非相干识别器	111
§ 5-4-1 非相干识别器的结构	111
§ 5-4-2 动态滤波器	116
§ 5-5 差动相干识别器	124
§ 5-5-1 差动相干识别器原理	124
§ 5-5-2 2dPSK 波形差动相干识别器	125
§ 5-5-3 4dPSK 波形差动相干识别器	130
第六章 数字波形传输方式的性能	133

§ 6-1 基本的数字波形传输方式种类	133
§ 6-2 单位频带信息传输速度	134
§ 6-3 差错率与归一化信噪比的关系	135
§ 6-3-1 恒参高斯信道下的结果	135
§ 6-3-2 变参信道下的结果	148
第七章 数字波形传输方式的发展	155
§ 7-1 实践中提出的问题	155
§ 7-1-1 关于提高频带利用率的问题	155
§ 7-1-2 关于提高功率利用率的问题	156
§ 7-2 理论上预示的方向	157
§ 7-2-1 潜力有多少	157
§ 7-2-2 潜力怎么挖	160
§ 7-3 几种窄带技术简介	165
§ 7-3-1 单边带技术	165
§ 7-3-2 残留单边带技术	166
§ 7-3-3 正交载波技术	167
§ 7-3-4 相关编码技术	168
§ 7-4 几种宽带波形简介	175
§ 7-4-1 编码正交波形	175
§ 7-4-2 伪随机序列	177
第八章 数字信息传错了怎么办	183
§ 8-1 概述	183
§ 8-2 反馈纠错	188
§ 8-2-1 定比码	189
§ 8-2-2 奇偶校验码	191
§ 8-2-3 矩阵码	193
§ 8-2-4 自动接收问答系统——ARQ 的原理	194
§ 8-3 前向纠错	196
§ 8-3-1 重复码	196
§ 8-3-2 汉明码	199
§ 8-3-3 循环码的概念	202
§ 8-3-4 连环码(卷积码)的概念	207

§ 8-3-5 纠正成群差错的方法	211
§ 8-4 差错控制的性能估算及其应用	218
§ 8-4-1 性能估算	218
§ 8-4-2 差错控制技术的应用	222
第九章 同步	228
§ 9-1 概述	228
§ 9-2 节拍同步	229
§ 9-2-1 外同步法	229
§ 9-2-2 自同步法	238
§ 9-3 群同步	246
§ 9-3-1 起止式	246
§ 9-3-2 用特殊码组作群同步	247
§ 9-3-3 群同步保护	256
参考书与资料	258

51.021

139

数字信息传输基本原理

孔宪正 编

国防工业出版社

内 容 简 介

数字通信领域很宽，本书主要介绍数字信息传输问题。内容包括数字通信概貌、数字信息传输系统的指标、数字波形传输方式、差错控制原理、同步问题等。

本书读者对象是从事这方面工作的技术工人，初中级技术人员，技术管理干部及有关专业工农兵大学生。

D-79/17

数字信息传输基本原理

孔 宪 正 编

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第074号

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

787×1092¹/₃₂ 印张 8¹/₈ 170千字

1976年10月第一版 1976年10月第一次印刷 印数：00,001—22,000册

统一书号：15034·1512 定价：0.67元

前 言

数字通信正在迅速发展，我国从事这方面工作的人员日益增多，为了促进数字通信技术的发展与应用，当前需要普及数字通信知识。本书就是为此目的而写的。

数字通信技术涉及好几方面的问题，诸如各种数字输入输出装置、信源编码、数字信息传输、数字信息交换、数字通信网等，本书主要介绍数字信息传输方面的内容。

本书目标是介绍数字信息传输的基本原理，着重于阐明物理概念，尽量减少数学推导。但在为了进一步阐明物理概念及介绍一些必要的工程估算的章节中，不可避免地涉及了一些数学，关于这方面内容，数学基础较低的读者可以舍去不看，不影响对基本原理的理解。

关于本书的内容及结构，在§1-2中有较详细的介绍，这里省略了，以免重复。内容的取材及书中所举例子，笔者力求结合实际。但限于水平，缺点与错误一定很多，欢迎读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 什么是数字通信	9
§ 1-1 各种消息是怎样转化成数字的	9
§ 1-2 数字通信系统的组成	13
§ 1-3 数字通信的特点	18
第二章 数字信息传输系统的好坏怎样衡量	21
§ 2-1 传输速度	21
§ 2-2 差错率	24
§ 2-3 可靠度	26
§ 2-4 适应性及使用维修性	27
§ 2-5 经济性	27
§ 2-6 通信建立时间	28
§ 2-7 标准化	28
第三章 怎样发送数字信息	30
§ 3-1 数字波形传输系统基本组成	30
§ 3-2 数字波形的种类	33
§ 3-2-1 以正弦波为基础的数字波形	33
§ 3-2-2 以脉冲波为基础的数字波形	37
§ 3-2-3 脉冲波与正弦波组合的数字波形	38
§ 3-3 基本的数字波形的产生	40
§ 3-3-1 波形产生器的基本部件	40
§ 3-3-2 几种基本数字波形产生器	43
§ 3-4 数字波形相关系数及频谱	47
§ 3-4-1 波形相关系数	48
§ 3-4-2 数字波形的频谱	51

第四章 信道与干扰问题	61
§ 4-1 信道与干扰情况概述	61
§ 4-1-1 关于信道	61
§ 4-1-2 关于干扰	64
§ 4-2 恒参信道	65
§ 4-2-1 线性四端网络的描述	65
§ 4-2-2 奈奎斯特定理	70
§ 4-2-3 通过恒参信道的数字波形举例	72
§ 4-3 变参信道	76
§ 4-3-1 信道衰减随时间而变——衰落	77
§ 4-3-2 信道传输延时随时间而变——多卜勒频移	79
§ 4-3-3 多径传播的效应——频率选择性衰落及波形展宽	80
§ 4-3-4 变参信道的改造——分集接收	83
§ 4-3-5 通过变参信道的数字波形举例	86
§ 4-4 相加性干扰	89
第五章 怎样接收数字信息	93
§ 5-1 “波形识别器”的种类	93
§ 5-2 最粗糙的波形识别器	95
§ 5-2-1 AK波形的接收	95
§ 5-2-2 FSK波形的接收	98
§ 5-3 相干识别器	100
§ 5-3-1 相干识别器的结构	100
§ 5-3-2 相干识别器的组成部件	102
§ 5-3-3 提取相干载波的方法	105
§ 5-4 非相干识别器	111
§ 5-4-1 非相干识别器的结构	111
§ 5-4-2 动态滤波器	116
§ 5-5 差动相干识别器	124
§ 5-5-1 差动相干识别器原理	124
§ 5-5-2 2dPSK 波形差动相干识别器	125
§ 5-5-3 4dPSK 波形差动相干识别器	130
第六章 数字波形传输方式的性能	133

§ 6-1 基本的数字波形传输方式种类	133
§ 6-2 单位频带信息传输速度	134
§ 6-3 差错率与归一化信噪比的关系	135
§ 6-3-1 恒参高斯信道下的结果	135
§ 6-3-2 变参信道下的结果	148
第七章 数字波形传输方式的发展	155
§ 7-1 实践中提出的问题	155
§ 7-1-1 关于提高频带利用率的问题	155
§ 7-1-2 关于提高功率利用率的问题	156
§ 7-2 理论上预示的方向	157
§ 7-2-1 潜力有多少	157
§ 7-2-2 潜力怎么挖	160
§ 7-3 几种窄带技术简介	165
§ 7-3-1 单边带技术	165
§ 7-3-2 残留单边带技术	166
§ 7-3-3 正交载波技术	167
§ 7-3-4 相关编码技术	168
§ 7-4 几种宽带波形简介	175
§ 7-4-1 编码正交波形	175
§ 7-4-2 伪随机序列	177
第八章 数字信息传错了怎么办	183
§ 8-1 概述	183
§ 8-2 反馈纠错	188
§ 8-2-1 定比码	189
§ 8-2-2 奇偶校验码	191
§ 8-2-3 矩阵码	193
§ 8-2-4 自动接收问答系统——ARQ 的原理	194
§ 8-3 前向纠错	196
§ 8-3-1 重复码	196
§ 8-3-2 汉明码	199
§ 8-3-3 循环码的概念	202
§ 8-3-4 连环码(卷积码)的概念	207

§ 8-3-5 纠正成群差错的方法	211
§ 8-4 差错控制的性能估算及其应用	218
§ 8-4-1 性能估算	218
§ 8-4-2 差错控制技术的应用	222
第九章 同步	228
§ 9-1 概述	228
§ 9-2 节拍同步	229
§ 9-2-1 外同步法	229
§ 9-2-2 自同步法	238
§ 9-3 群同步	246
§ 9-3-1 起止式	246
§ 9-3-2 用特殊码组作群同步	247
§ 9-3-3 群同步保护	256
参考书与资料	258

第一章 什么是数字通信

什么是数字通信？概略地说，把原始消息转化成简单的数字形式再进行传送的通信方式，就是数字通信。而直接传送原始消息的通信，如普通的电话、电视等等，就相应地称为模拟通信方式。

那么，各种原始消息是怎样转化成简单的数字的呢？

还有，数字形式的消息是如何进行传输的呢？

这是数字通信中的两个基本问题。本书主要介绍第二个问题。这一章，我们先对第一个问题作个概念性的介绍，其次对第二个问题作个概述，最后再简要地概括一下数字通信的特点。

§ 1-1 各种消息是怎样转化成数字的

各种消息是怎样转化成数字的？为回答这个问题，我们分二步，先分析一下离散的消息，如文字，然后分析连续的消息，如话音、图象等。

先以汉字为例。大家知道，常用汉字不超过一万个，它足以表达人们错综复杂的思想。如果我们用阿拉伯数字对这些汉字进行编号，那么一万个汉字完全可以用 0000 至 9999 这样的数字来代替。而这一万个四位数组成的数字，实际只用了十种基本数字，即 0 至 9 十个阿拉伯数字。可见，将汉字转化成数字是十分容易的。事实上汉字电报中就应用了这

个原理，这是大家所熟悉的。但事情到此并未完结。通常的电报机并不直接传送这十种阿拉伯数字，而是只传送二种键控信号，所谓“空号”与“传号”。原来阿拉伯数字并非最简单的数字，最简单的数字只有二个数字，通常记为“1”与“0”。如果我们用四位“1”与“0”组成一个字，如0001, 0010, 0011, ..., 1111, 0000等，可以算出这样的字共有 $2^4=16$ 种。任取其中10种即足以代替10种阿拉伯数字。因此任一个汉字又可进一步转化成由四个四位最简单的数字组成的数字来代替。如电报中用阿拉伯数字6008代表汉字的“要”，如我们用四位最简数字0000代表阿拉伯数字0，0110代表6，1000代表8，那么汉字“要”最终就转化成这样的最简数字：

0110 0000 0000 1000

再来看图1-1，这是一个任意的连续消息示意图。图中横座标 t 代表时间，纵座标 $F(t)$ 代表任一种连续消息，例如声音的强弱变化、图象的亮度变化、炼钢过程中炉温曲线、心电图等等。对这种连续消息的数字化转换，有好多办法，其中最具有代表性的办法叫做脉码调制。下面我们就简单的介绍一下脉码调制的原理。

脉码调制可分三个步骤，第一步叫“取样”，第二步叫“量化”，第三步叫“编码”。

什么是“取样”？简单说来，就是在 $F(t)$ 这条连续的曲线上，取出一些“样品”来，如图1-1中的 $F_1, F_2, \dots, F_n, \dots$ 等，这些样品要取得足够密，以致根据这些“样品”可以用“曲线板”重新连出原来的曲线来。问题是究竟要密到什么程度？定量的来说，有一条定理，叫取样定理，大意如下：