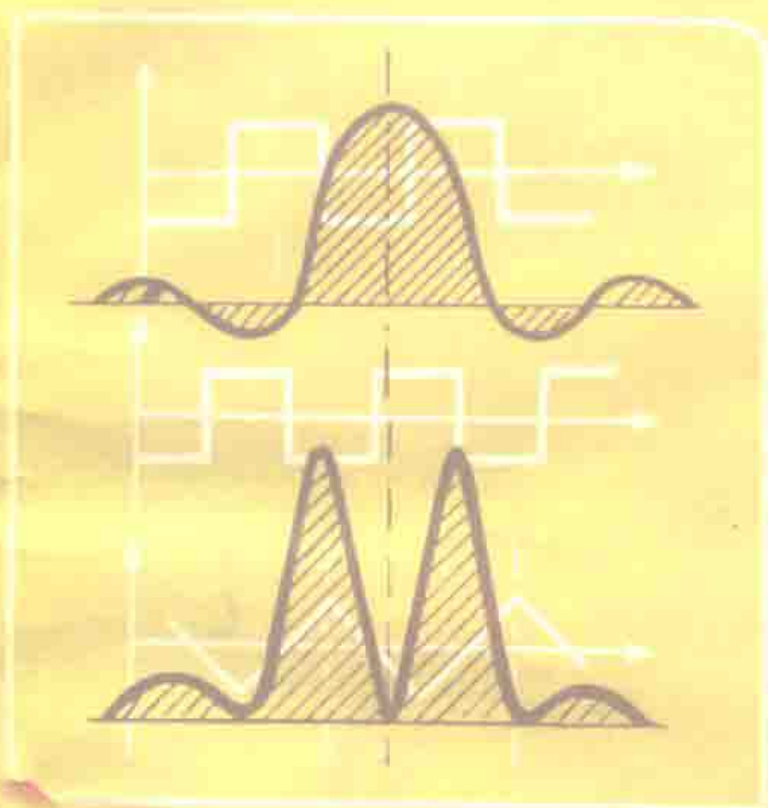


无线电技术与通信专题介绍丛书

[英] F. R. 康纳 著

信号



科学出版社

信 号

〔英〕F. R. 康纳 著

张怀林 译

禾 民 校

科学出版社

内 容 简 介

本书是 F. R. 康纳撰写的“无线电技术与通信专题介绍”丛书之一,是专门介绍信号的专业性普及读物。书中扼要介绍了信号的基本概念、信号的分析方法和编码方法,还介绍了信息论的基本内容。为了帮助读者理解概念,列举了不少例题并给出了一定数量的习题,这些题目大都是从英国的有关考卷中选取的。

本书内容浅显、概念清楚、通俗易懂,适合于自学无线电技术和无线电通信等课程的读者阅读,亦可作为无线电类大、中专学生和工程技术人员的学习参考书。

F. R. Connor

SIGNALS

Edward Arnold, 1979

信 号

〔英〕F. R. 康纳 著

张怀林 译

禾 民 校

责任编辑 魏玲 李立

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街137号

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

*

1982年10月第一版 开本:787×1092 1/32

1982年10月第一次印刷 印张:4 1/8

印数:0001—16,300 字数:92,000

统一书号:15031·440

本社书号:2756·15-7

定价: 0.55 元

前 言

本书是介绍“信号”这一重要课题的著作。当前,各种形式的电信号已广泛应用于电子技术和电信领域,本书通过把密切相关的题材归纳起来,力图简洁而有条理地介绍有关基本概念。另外,为了帮助读者掌握这些基本概念,书中还提供了许多从过去试卷中选取的成功的例题,来清楚地说明有关基础理论的应用。本书是无线电技术与通信专题介绍丛书六卷本的首册。

本书前几章用于分析各种信号和研究它们的特性。随后几章论述信号的传输和在各种应用中所采取的信号处理技术。书中最后一章介绍信息论这一重要课题,信息论是关于一切通信系统中信息传输的普遍规律的理论。

本书对于下列学生十分有用:他们或者准备通过伦敦大学的考试,或者准备考取全国学术评选委员会颁发的学位,或者准备通过工程学会委员会的考试,或者准备取得其他证书,诸如全国通用的高级执照,全国有效的高级学位证书,以及伦敦协会金融中心当局和协会的某些考试合格证。本书也适用于工业界那些需要一本基础知识常用书以帮助其实际工作的工程师。

F. R. 康纳

本丛书的另几册是:

2. 网络

3. 波的传输

4. 天线

5. 调制

6. 噪声

本书使用的符号

τ	持续时间
ω	角频率
$\delta(t)$	狄拉克 δ 函数
σ	实数
λ	波长
α, β, γ	角度
$\mathcal{F}[f(t)]$	$f(t)$ 的傅里叶变换
$\phi(\omega)$	相角
$\frac{V_o}{V_i}$	矢量电压
Δx	x 的增量
$L[f(t)]$	$f(t)$ 的拉普拉斯变换
$\mathcal{L}[f(t)]$	
$\mathcal{L}^{-1}[F(s)]$	$F(s)$ 的拉普拉斯反变换

本书使用的缩写词

C. E. I. Part 2	工程学会委员会通信工程考试第 二部分
L. U. B. Sc (Eng.) Tels.	伦敦大学 (工程) 学士电信考试第 三部分

目 录

第一章 绪论	1
1-1 信号类型	1
1-2 信号实例	2
1-3 信号频谱	10
第二章 信号分析	11
2-1 傅里叶级数	11
2-2 离散频谱	12
2-3 典型级数	13
2-4 复数形式	14
2-5 傅里叶积分	23
2-6 连续频谱	24
2-7 典型函数	25
2-8 功率谱和能谱	39
第三章 网络响应	41
3-1 非周期波形	41
3-2 理想低通滤波器	42
3-3 周期波形	48
3-4 实际的低通滤波器	48
3-5 拉普拉斯变换	51
第四章 信号传输	60
4-1 频率分割制	60
4-2 时间分割制	61
4-3 信号失真	63
第五章 信号技术	69
5-1 信号采样	69

5-2	采样定理	71
5-3	采样响应	73
5-4	编码	75
5-5	其他码	84
5-6	误差	87
第六章	信息论	89
6-1	平均信息 H	90
6-2	信道容量 C	92
6-3	多余度	96
	习题	99
	答案	104
	参考文献	105
	附录	107
A.	国际电传打字机码	107
B.	幅度调制和频率调制	108
C.	傅里叶的解	110
D.	国际莫尔斯码	118
E.	信息率	118
F.	多普勒雷达	120
	索引	123

第一章 绪 论

一个通信工程师关心的是信号的传输和接收问题。信号是随时间变化的电压或电流，用来把消息或信息从一个地方传到另一个地方。一个消息通常以字码或编码符号的形式来表示，它所含的信息量在通信中是极为重要的。

在工程上，更为方便的是把信息变成信号，然后把信号经过通信系统发送到接收端，在接收端再把信号变为原来的信息或消息。一个典型通信系统的示意图如图 1 所示。

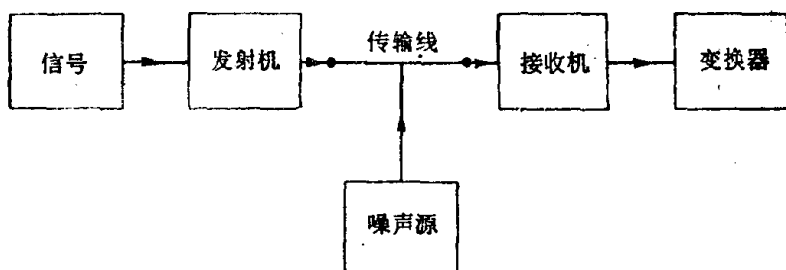


图 1 典型的通信系统

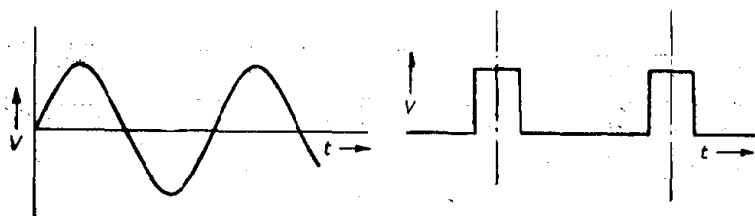
信源产生消息信号，经过发射机处理后沿传输线发送出去。在接收端提取出消息后送入终端机(变换器)。在传输和接收过程中，信号要受到各种噪声的干扰，这些干扰噪声可以用一个噪声源来表示。

1-1 信号类型

信号有两种主要类型——随时间连续变化的模拟信号和随时间不连续变化的数字信号。

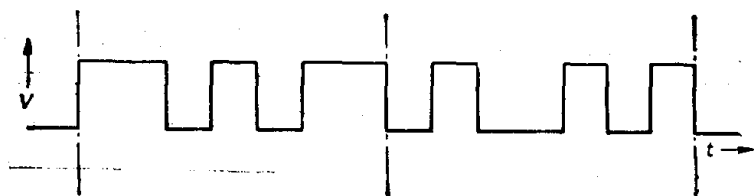
模拟信号通常是描述物理量例如声波的变化，而且是单一正弦波或者是正弦波的组合。

数字信号是由在离散时间上出现的脉冲组成。脉冲可以单个地以固定的周期出现或者象电报那样以码组形式出现。



简单模拟信号

简单数字信号



编码信号

图 2

1-2 信号实例

典型的信号是那些在电报^[1,2]、电话^[3,4]、无线电通信^[5,6]、电视^[7,8]和雷达^[9-11]中使用的信号。

(a) 电报信号

在电报信号中，消息由一组字码组成，可以把每一个字母变成确定的编码信号而将消息发送出去。这就是电报的基础，而且通常它是用机电设备来完成的，诸如打字机和通常所说的电传打字机。

在电传打字机编码¹⁾中使用的字母 R 具有图 3 中表示的形式。

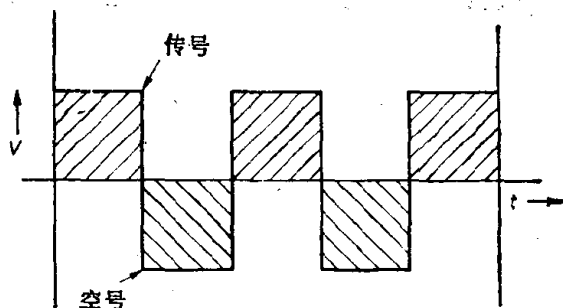


图 3 字母 R

这种信号由分别叫传号和空号的正负值的脉冲波形组成。传输脉冲的速率叫做发信速度,并用波特(baud)来度量。波特的定义是每秒钟发出的脉冲数。电报机中使用的速度大约为 50 波特。

以后将要说明,上述的脉冲波形包含的频率范围称为信号带宽。由于实际的理由,对于 50 波特的速度来说,每个消息的带宽取为 120 Hz,通常称为一个电报信道。

例 1 讨论在电报系统中带宽和发信速度之间的关系。

解 研究一个简单的系统。在该系统中,基本信号由一系列正负脉冲组成,如图 3 所示。发信速度定义为每秒钟发出的单元脉冲的个数。由于脉冲越窄每秒钟内能发出的脉冲个数就越多,因此发信速度与脉冲的宽度成反比。于是

$$\text{发信速度} = \frac{1}{\text{单元脉冲宽度}}$$

例如,对于一个 50 波特的发信速度,我们有

$$\text{单元脉冲宽度} = \frac{1}{50} = 20 \text{ ms}$$

由于脉冲宽度或时间与它的频率成反比,故发信速度是

1) 见附录 A。

直接正比于频率的。因此，发信速度越快其包含的频率也就越高。换句话说，使用的频带宽度与发信速度成正比。

(b) 电话信号

一个电话的信息由包括元音和辅音的语言声音组成。语言声音产生声波，它使得电话话筒产生振动，由此而产生一个电信号。语言声音的起伏相当大，因此电话信号是由很复杂的音频正弦波组成。发元音字母 *E* 时得到的信号如图 4 所示。



图 4 元音 *E*

已经发现，在较低频率处的语言信号能量最大。对于可懂语言，选用范围从 300 Hz 到 3400 Hz 的频率就足够了。因此对每个电话消息使用 4 kHz 的带宽，并被认为是一个电话信道。

换句话说，这样一个电话信道可以携带若干个电报消息。每个电报消息的带宽为 120 Hz，所以在一个电话信道中可以容纳多达 24 路电报信道。

(c) 无线电信号

无线电信号是由振荡器产生，并由称为载波的射频正弦波组成。为了携带信息，用语言或音乐对载波进行调制。在

调幅¹⁾的情况下,载波幅度随调制信号而变化,如图 5 所示。

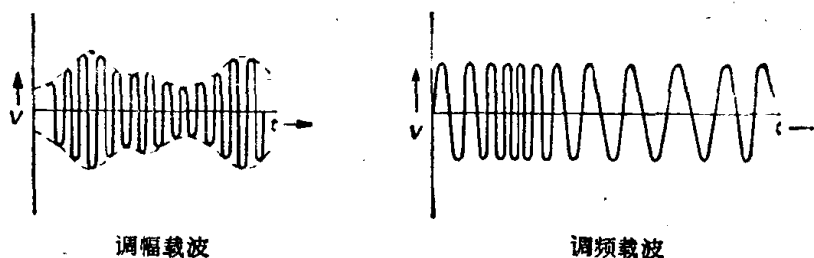


图 5

当调制信号是音乐声音时,对于商业广播频带宽度可到 10 kHz,在高保真度音乐广播时,频带宽度可达 15 kHz。

(d) 电视信号(黑白电视)

电视播送的图象由从黑色到白色的各种色调的光组成,并随时间而变化。因此表示在图 6 上的电视信号在形状上是

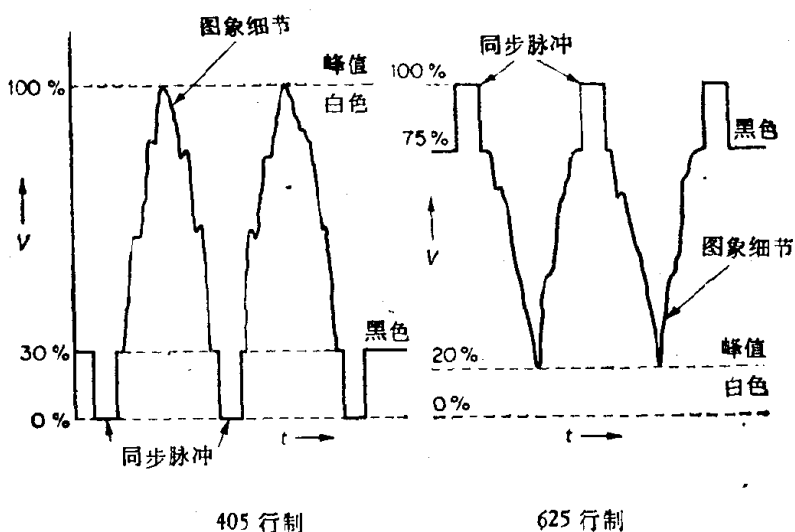


图 6

1) 见附录 B。

相当复杂的,电视信号包含很多发送图象细节的时间段,而且是随光的各种色调变化来发送图象细节的. 与此(图象细节)相间的是一组脉冲,它们是用来保证接收机的行、场的时间基准与发射端摄像机的扫描同步.

对于英国广播公司 625 行制式来说,所用的典型信道带宽是从直流电平到 8 MHz.

例 2 对以下每一种传输情况,讨论线路传输所要求的频带宽度:

(1) 高质量的音乐.

(2) 12 路电话信道.

(3) 24 路音频电报信道,其每路的发信速度为 50 波特.

(4) 625 行电视图象,其图象行扫描为 $60\ \mu\text{s}$,宽高比为 4/3.

(L. U. B. Sc (Eng.) Elect. & Tels., 1964)

解 (1) 对高质量音乐(简称高保真度)必须覆盖人的平均可听度范围的频带,即最低约 20 Hz 最高可达 16 kHz 甚至 18 kHz. 因此要求的频带宽度接近 16 kHz 或等效为有线传输中使用的四路电话信道.

(2) 对于可听懂的语言,3.4 kHz 的频带宽度就足够了,考虑到滤波器的特性,故分给每一频道平均为 4 kHz. 所以 12 个频道要求 $12 \times 4\ \text{kHz} = 48\ \text{kHz}$ 带宽.

(3) 由于以波特表示的发信速度等于电报脉冲宽度的倒数,故

$$\text{脉冲宽度} = \frac{1}{50}\ \text{s}$$

对于一个完整的循环,对基波周期而言,脉冲的变化(从正电压到负电压)需加倍. 于是,

$$\text{循环周期} = 2 \times \frac{1}{50} = \frac{1}{25} \text{ s}$$

或

$$\text{基频} = 25 \text{ Hz}$$

用这些脉冲来对大约 500 Hz 的音频载波进行调幅。称为边带（见附录 B）的和频及差频出现在载波的两侧，给出总带宽为 $2 \times 25 = 50 \text{ Hz}$ 。

然而，考虑到滤波器特性，实际上采用 120 Hz 的带宽，这就使三次谐波即 75 Hz 的分量也能发送出去，以保证脉冲成方形，从而确保电子-机械继电器（电报继电器）能可靠的工作。

因此，对于 24 路音频电报信道，其带宽要求是 $24 \times 120 \text{ Hz} = 2880 \text{ Hz}$ 。

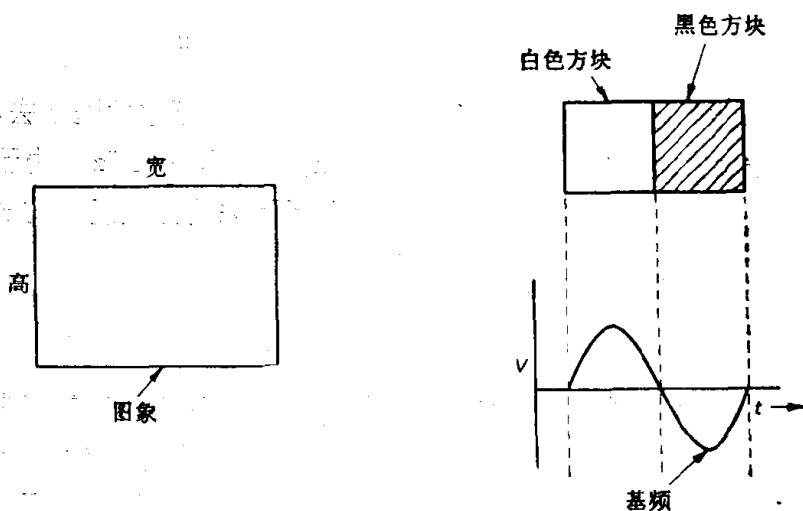


图 7

(4) 让 w 代表图象宽度， h 代表高度，于是，

$$\frac{w}{h} = \frac{4}{3} \quad \text{或} \quad h = \frac{3w}{4}$$

由于一幅图象有 625 行,行距由下式确定:

$$h/625 = 3w/(4 \times 625)$$

为了使水平和垂直的清晰度相同,像素宽度等于它的高度,因此等于 $3w/(4 \times 625)$,于是,

$$\text{每行像素数} = w/\text{像素的宽度} = \frac{4}{3} \times 625$$

现在

$$\text{扫描一个像素的时间} = \frac{60 \times 10^{-6}}{\frac{4}{3} \times 625} = \frac{9 \times 10^{-6}}{125} \text{ s}$$

或者

$$\text{扫描两个像素(一个整周期)的时间} = \frac{18 \times 10^{-6}}{125} \text{ s}$$

于是

$$\text{基波频率} = \frac{125 \times 10^6}{18} = 7 \text{ MHz}$$

由于平均图象亮度是一直流信号,也必须把它发送出去,因此总频带宽度要求为从 0 到 7 MHz,也就是 7 MHz. 由于这样大的带宽,不能采用双边带调制,因而采用比较经济的残留边带调制.

(e) 雷达信号

雷达通常是利用发射短周期信号和接收从目标反射回来的信号的方法来完成对有效区域内远距离目标的定位和定向. 雷达信号基本上是一个在 1 kHz 左右的低重复频率下发送的矩形脉冲串,如图 8 所示. 采用的脉冲宽度在 $0.1 \mu\text{s}$ 到 $10 \mu\text{s}$ 的时间内变化.

上述的信号可以表示为无穷多正弦波的组合,这些正弦波的频率都是谐波关系. 可靠地接收从远距离目标反射回来

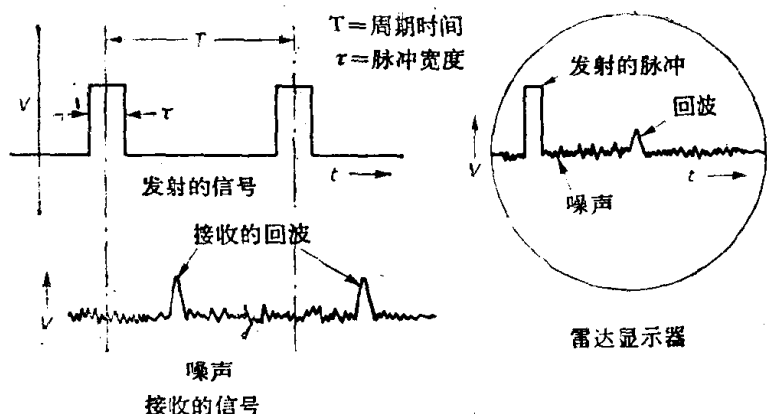


图 8

的信号所要求的带宽大约为 2—5 MHz. 雷达信号也可用来测量速度, 如测量飞机的飞行速度. 这就是众所周知的多普勒雷达, 这方面的介绍见附录 F.

例 3 雷达发射机采用 1 kHz 的重复频率进行调制, 并传输持续时间为 $4 \mu\text{s}$ 的脉冲. 如果发送的平均功率为 400W, 求 (1) 占空系数; (2) 峰值功率; (3) 最小和最大作用距离.

解

$$(1) \text{ 占空系数} = \frac{\text{脉冲宽度}}{\text{周期时间}} = \frac{4 \times 10^{-6}}{\frac{1}{1000}} = \frac{1}{250}$$

$$(2) \text{ 平均功率} = \text{峰值功率} \times \text{占空系数}$$

或

$$\text{峰值功率} = \frac{400}{\frac{1}{250}} = 100 \text{ kW}$$

(3) 电磁能以 3×10^8 米/秒的速度进行传播. 于是

$$1 \mu\text{s} \text{ 时间内传播的距离} = 3 \times 10^8 \times 10^{-6} = 300 \text{ m}$$

最小作用距离由信号传到目标再返回来所占的最小时间来决定. 它不能小于脉冲的持续时间, 否则要和发送信号相

混,而发送信号是 $4\ \mu\text{s}$ 宽. 于是,

$$\text{到目标的最小时间} = \frac{4}{2}\ \mu\text{s} = 2\ \mu\text{s}$$

或

$$\text{到目标的最小距离} = 2 \times 300 = 600\ \text{m}$$

最大作用距离由到目标并返回所占的最大时间来决定. 这必须正好等于第一个和第二个脉冲之间的时间, 否则返回的脉冲就要和第二个发送脉冲相混. 于是,

$$\text{到目标的最大时间} = \frac{\text{周期时间}}{2} = \frac{1}{2000} = 500\ \mu\text{s}$$

或

$$\text{到目标的最大距离} = 500 \times 300 = 150\ \text{km}$$

1-3 信号频谱

人们可以采用傅里叶方法^[1,2]把信号分解成许多频率分量. 这些频率的整个范围代表信号的频谱, 它在电信中占有头等的重要性. 掌握这种频谱知识对解决传输和接收的问题是很有用的.

信号可以用瞬时值随时间变化的曲线即“时域”法来表示, 也可以用频谱分量的振幅随频率变化的曲线即“频域”法来表示. 这两种表示法有直接的联系, 借助于傅里叶方法而可以得出两者之间的关系.

应该说明, 存在着两类频谱, 分别称为离散频谱和连续频谱. 这将在下一章中详细讨论.