

SHUZI TONGXIN XITI JIEDA

数字通信习题解答

郝建军 桑林 刘丹谱 罗涛 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数字通信习题解答

郝建军 桑林 刘丹谱 罗涛 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 介 绍

本习题集是北京邮电大学出版社出版的《数字通信(第2版)》教材的配套教学参考书。

全书包括了《数字通信(第2版)》教材中的所有习题及其参考答案,以及计算机仿真练习的参考代码和仿真结果。

本习题集内容丰富,具有一定的深度及广度,有助于读者加深对通信基本概念的理解,并提高运算能力。

本书可作为高等学校通信工程、信息工程、电子工程和其他相近专业本科生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字通信习题解答/郝建军等编著. --北京:北京邮电大学出版社,2012.8

ISBN 978-7-5635-3162-2

I. ①数… II. ①郝… III. ①数字通信—高等学校—习题集 IV. ①TN914.3-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 171316 号

书 名: 数字通信习题解答

著作责任者: 郝建军 桑林 刘丹谱 罗涛 编著

责任编辑: 李欣一

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 8.25

字 数: 176 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-3162-2

定 价: 18.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

在当今信息时代,数字通信技术应用越来越广泛,人们越来越期望了解和掌握数字通信技术,除了掌握其基础理论外,还希望了解该学科的新成就及发展方向。北京邮电大学出版社出版的《数字通信(第2版)》正是为了顺应这一要求而编写的,同时为了配合《数字通信(第2版)》的学习需要,并应广大同学的要求,我们编写了这本习题集供大家参考。

本习题集依托的主讲教材是由郝建军、桑林、刘丹谱、罗涛编写,北京邮电大学出版社出版的《数字通信(第2版)》。这本教材也是北京邮电大学信息与通信工程学院以及其他学院的《数字通信》课程的主讲教材。

本习题集给出了《数字通信(第2版)》教材中所有习题的详细参考解答,并对教材中的个别习题进行了调整订正。同时也给出了计算机仿真练习的参考代码和仿真结果。

本书第1章、第8章由桑林编写,第4~6章由郝建军编写,第2章、第7章由刘丹谱编写,第3章、第9章和第10章由罗涛编写。本书在编写过程中,得到了北京邮电大学乐光新教授的关怀和指导,乐光新教授审阅了本书,在此表示感谢。感谢北京理工大学李祥明教授,同时由衷感谢北京邮电大学信息与通信工程学院通信原理课程组同事的协作,感谢实验室研究生高永康、张枫、郭一珺、郝庭基、王岩、刘倩倩、莫新强对本书所付出的劳动,感谢所有支持我们教学工作的同仁们。

由于时间和水平有限,难免有错误、遗漏和不妥之处,欢迎读者指正。

编著者

目 录

第 1 章绪论习题解答	1
第 2 章信源编码习题解答	5
第 3 章信道习题解答	19
第 4 章数字复接技术习题解答	30
第 5 章数字传输技术习题解答	36
第 6 章加性白高斯噪声下的数字最佳接收习题解答	56
第 7 章差错控制编码习题解答	84
第 8 章同步技术习题解答	98
第 9 章多址技术及其在通信系统中的应用习题解答	108
第 10 章无线数字通信技术习题解答	112

第 1 章绪论习题解答

1.1 什么是通信？通信系统是如何分类的？

解

通信是指由一地向另一地进行消息的有效传递。根据消息的形式、通信业务的种类和传输所用的信道等，可以将通信系统分成许多不同的类型。常用的分类方法有：

(1) 按传输媒质：可分为有线通信和无线通信两大类。有线通信包括明线通信、电缆通信和光纤通信等；无线通信包括微波通信、短波通信、超短波通信、移动通信、卫星通信、散射通信等。

(2) 按信道中所传信号：可分为模拟通信和数字通信。

(3) 按工作频段：可分为长波通信、中波通信、短波通信和微波通信等。

(4) 按调制方式：可分为基带传输和频带传输。

(5) 按业务的不同：可分为电报、电话、传真、数据、广播、电视等。

(6) 按收发方是否运动：可分为移动通信和固定通信。

1.2 何谓数字通信？数字通信的优缺点是什么？

解

利用数字信号传输信息的方式，称为数字通信。

数字通信的主要优点是：

(1) 抗干扰能力强，可消除噪声积累；

(2) 差错可控制，传输性能好；

(3) 便于处理和管理，便于传输和交换；

(4) 便于与各种数字终端接口，用现代计算技术对信号进行处理、加工、变换、存储，形成智能网；

(5) 便于集成化，从而使通信设备微型化；

(6) 便于加密处理，且保密程度高。

数字通信的主要缺点是：

(1) 频带利用率低，需要占据比模拟通信更宽的系统频带，例如一路模拟电话占用的带宽为 4 kHz，接近同样话音质量的一路数字电话需要占用的带宽则为 20~60 kHz；

(2) 对同步要求高，系统设备比较复杂。

1.3 试画出数字通信系统的模型,并简要说明各部分的作用。

解

数字通信系统的模型如图 1.1 所示。

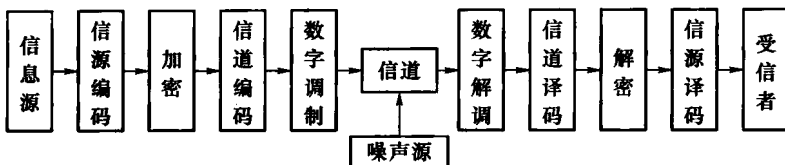


图 1.1 数字通信系统模型

数字通信系统中各部分的作用如下:

(1) 信息源:把原始信息变换成原始电信号。

(2) 信源编码/译码的任务主要有两个:

① 实现模拟信号的数字化,即完成 A/D 变换;

② 提高信号传输的有效性,即在保证一定传输质量的情况下,用尽可能少的数字脉冲来表示信源产生的信息。

(3) 加密/解密:人为地将待传输的数字序列扰乱,即加上密码,以保证所传信息的安全。接收端再利用与发送端相同的密码对收到的数字序列进行解密,恢复原来的信息。

(4) 信道编码/译码:主要解决数字通信的可靠性问题,又称作抗干扰编码或纠错编码。具体来说就是按一定的规则在传输的信息码流中加入一些冗余码(监督码),形成新的码字;接收端按照约定好的规律进行检错甚至纠错。

(5) 数字调制/解调:将信道编码输出码流映射为相应的信号波形,形成适合在特定的信道中传输的已调信号。

(6) 信道:信道是信号传输媒质的总称,传输信道的类型有无线信道(如电缆、光纤)和有线信道(如自由空间)两种。

(7) 噪声源:噪声是通信系统中各种设备以及信道中所固有的干扰,为了分析方便,把噪声源视为各处噪声的集中表现而抽象加入到信道。

(8) 同步:使收发两端的信号在时间上保持步调一致,是保证数字通信系统有序、准确、可靠工作的前提条件。

(9) 受信者:把原始电信号还原成相应的消息。

1.4 衡量通信系统的主要性能指标是什么? 对于数字通信具体用什么来表述?

解

从信息传输的角度来说,衡量通信系统的主要性能指标是有效性和可靠性。有效性

是指对信道资源的利用效率,即系统中单位频带传输消息量的“速率”问题。可靠性是指系统传输消息的“质量”,即好坏问题。对于数字通信来说,系统的有效性具体可用频带利用率和传信率来衡量,系统的可靠性具体可用误码率和误信率来衡量。

1.5 设某一数字传输系统传送二进制信号,码元速率 $R_{B2} = 2\,400\text{ B}$,试求该系统的信息速率 R_b ? 若该系统改为传送十六进制信号,码元速率不变,则此时的系统信息速率为多少?

解

传送二进制信号时, $N=2$, 则系统的信息速率

$$R_b = R_{B2} \log_2 N = 2\,400 \log_2 2 = 2\,400 \text{ bit/s}$$

传送四进制信号时, $N=16$, 则系统的信息速率

$$R_b = R_{B16} \log_2 16 = 2\,400 \log_2 16 = 9\,600 \text{ bit/s}$$

1.6 已知某数字传输系统传送八进制信号,信息速率为 $3\,600 \text{ bit/s}$,试问码元速率应为多少?

解

由 $N=8$, 可得系统的码元速率

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} = \frac{3\,600}{\log_2 8} = 1\,200 \text{ B}$$

1.7 已知某系统的码元速率为 $3\,600 \text{ kB}$,接收端在 1 h 内共收到 $1\,296$ 个错误码元,试求系统的误码率近似为多少?

解

接收端在 1 h 内收到的总码元数应为

$$3\,600 \times 10^3 \times 3\,600 = 1.296 \times 10^{10}$$

则系统的误码率近似为

$$P_M = \frac{1\,296}{1.296 \times 10^{10}} = 10^{-7}$$

1.8 已知某四进制数字信号传输系统的信息速率为 $2\,400 \text{ bit/s}$,接收端在 0.5 h 内共收到 216 个错误码元,试计算该系统误码率的近似值。

解

由 $N=4$, 可得系统的码元速率

$$R_B = \frac{R_b}{\log_2 N} = \frac{2\,400}{\log_2 4} = 1\,200 \text{ B}$$

接收端在 0.5 h 内收到的总码元数应为

$$1\,200 \times 1\,800 = 2.16 \times 10^6$$

则系统的误码率近似为

$$P_M = \frac{216}{2.16 \times 10^6} = 10^{-4}$$

1.9 某系统经长期测定,它的误码率 $P_M = 10^{-5}$,系统码元速率为 1 200 B,问大约在多长时间内可能收到 360 个错误码元?

解

系统在 1 s 内平均收到的错误码元数为

$$1\,200 \times 10^{-5} = 0.012$$

因此收到 360 个错误码元需要的时间大约是

$$\frac{360}{0.012} = 30\,000\text{ s} = 8.33\text{ h}$$

第 2 章信源编码习题解答

 2.1 已知信号 $f(t) = 1 + \cos \omega_0 t + \cos 2\omega_0 t$, 要求:

- (1) 画出信号的频谱图;
- (2) 确定对该信号抽样的最小抽样频率;
- (3) 画出理想抽样后的频谱图。

解

- (1) 信号 $f(t)$ 的频谱为

$$F(f) = \delta(f) + \frac{1}{2} [\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0)] + \frac{1}{2} [\delta(f + 2f_0) + \delta(f - 2f_0)]$$

其中 $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ 。

- (2) 由奈奎斯特抽样定理可以得到, 该信号的最小抽样频率为 $f_s = 4f_0$ 。
- (3) 对该信号进行理想抽样后的频谱为

$$F_s(f) = f_s \sum_{k=-\infty}^{\infty} F(f - kf_s)$$

```
% 画出信号 f(t) 的频谱图
close all;
clear all;
f0 = 2 ;                % 信号频率/Hz
T = 10;                % 信号时长/s
dt = 0.01;             % 时间采样间隔/s
t = 0:dt:T;
st = 1 + cos(2 * pi * f0 * t) + cos(2 * 2 * pi * f0 * t) ;    % 输入信号
[f, sf] = T2F(t, st);    % 求信号的频谱

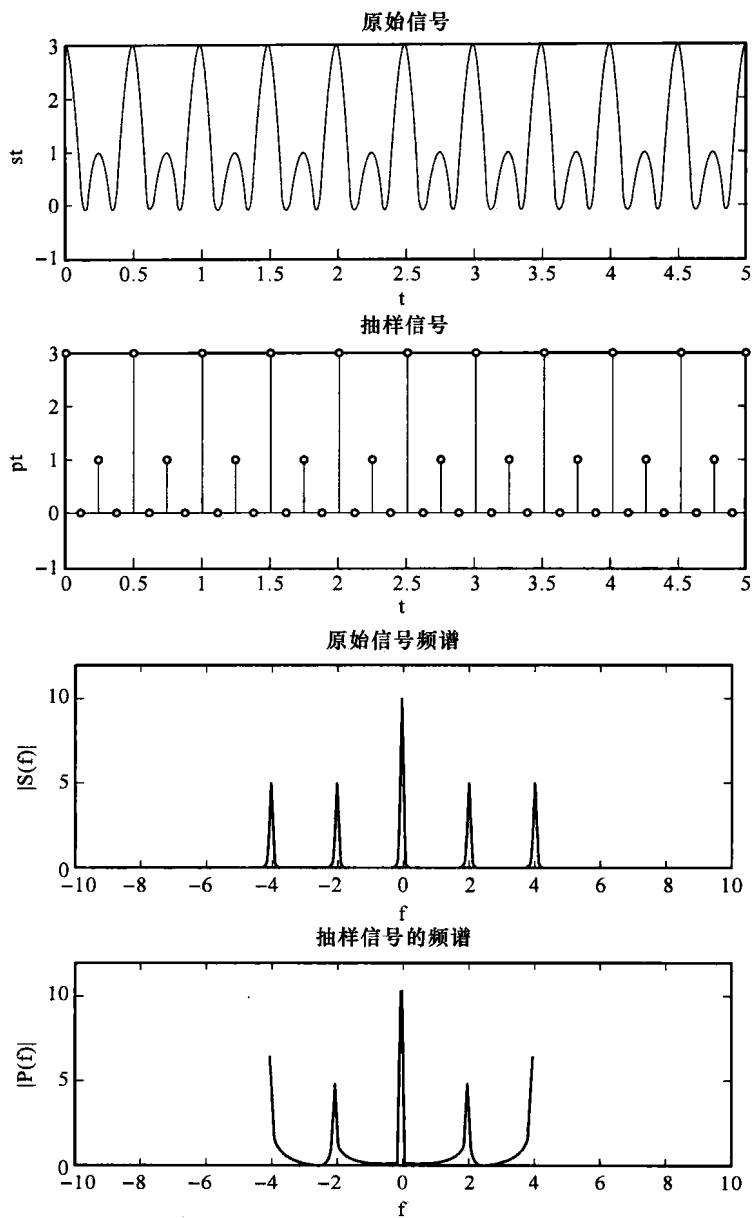
fs = 8;                % 抽样信号抽样速率为 4f0 = 8Hz
sdt = 1/fs;
```

```
t1 = 0;sdt,10;
pt = 1 + cos(2 * pi * f0 * t1) + cos(2 * 2 * pi * f0 * t1) ;
[f1,pf] = T2F(t1,pt);

figure(1);
subplot(211);
plot(t,st); title('原始信号');
axis([0 5 -1 3]);
xlabel('t');
ylabel('st');
subplot(212);
stem(t1,pt); title('抽样信号');
axis([0 5 -1 3]);
xlabel('t');
ylabel('pt');

figure(2);
subplot(211);
plot(f,abs(sf)); title('原始信号频谱');
axis([-10 10 0 12]);
xlabel('f');
ylabel('|S(f)|');
subplot(212);
plot(f1,abs(pf)); title('抽样信号的频谱');
axis([-10 10 0 12]);
xlabel('f');
ylabel('|P(f)|');
% 程序结束
```

程序输出如下：



2.2 用抽样定理证明函数

$$f(t) = \frac{\pi \cos \omega_m t}{(\pi/2)^2 - (\omega_m t)^2}$$

是由两个彼此相隔 $T_s = \pi/\omega_m$ 的抽样函数所组成的。

解

因为函数

$$f(t) = \frac{\pi \cos \omega_m t}{(\pi/2)^2 - (\omega_m t)^2} = \frac{\pi \cos \omega_m t}{\left(\frac{\pi}{2} - \omega_m t\right) \left(\frac{\pi}{2} + \omega_m t\right)}$$

设

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{A \sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega_m t\right)}{\frac{\pi}{2} - \omega_m t} + \frac{B \sin\left(\frac{\pi}{2} + \omega_m t\right)}{\frac{\pi}{2} + \omega_m t} = \frac{A \cos \omega_m t \left(\frac{\pi}{2} + \omega_m t\right) + B \cos \omega_m t \left(\frac{\pi}{2} - \omega_m t\right)}{(\pi/2)^2 - (\omega_m t)^2} \\ &= \frac{\cos \omega_m t \left[\frac{\pi}{2} (A+B) + \omega_m t (A-B) \right]}{(\pi/2)^2 - (\omega_m t)^2} \end{aligned}$$

可得 $A=1, B=1$ 。所以

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \omega_m t\right)}{\frac{\pi}{2} - \omega_m t} + \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} + \omega_m t\right)}{\frac{\pi}{2} + \omega_m t} = \text{Sa}\left(\frac{\pi}{2} - \omega_m t\right) + \text{Sa}\left(\frac{\pi}{2} + \omega_m t\right) \\ &= \text{Sa}\left[\omega_m \left(t - \frac{\pi}{2\omega_m}\right)\right] + \text{Sa}\left[\omega_m \left(t + \frac{\pi}{2\omega_m}\right)\right] \end{aligned}$$

两个抽样函数彼此间隔 $T_s = \frac{\pi}{\omega_m}$ ，由此得证 $f(t)$ 是由两个彼此间隔 $T_s = \frac{\pi}{\omega_m}$ 的抽样函数所组成的。

2.3 信号 $f(t) = 1 + \cos \omega_0 t + \cos 2\omega_0 t$ ，以每秒 250 次的速率抽样。

- (1) 求抽样样值序列的频谱；
- (2) 若用理想低通滤波器恢复 $f(t)$ ，则低通滤波器的截止频率应该是多少？
- (3) 如果把 $f(t)$ 看成是低通信号，最低抽样频率应该是多少？
- (4) 如果把 $f(t)$ 看成是带通信号，最低抽样频率又是多少？

解

(1) 已知信号 $f(t) = 1 + \cos \omega_0 t + \cos 2\omega_0 t$ ，则该信号的频谱为

$$F(f) = \delta(f) + \frac{1}{2} [\delta(f + f_0) + \delta(f - f_0)] + \frac{1}{2} [\delta(f + 2f_0) + \delta(f - 2f_0)]$$

其中 $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ 。

抽样速率为 $f_s = 250$ Hz，则样值序列

$$f_s(t) = f(t) \times \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta\left(t - \frac{1}{250}n\right) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f\left(\frac{1}{250}n\right) \delta\left(t - \frac{1}{250}n\right)$$

其频谱为

$$F_s(f) = \frac{1}{T_s} F(f) \times \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(f - 250n) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} F(f - 250n) = 250 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} F(f - 250n)$$

(2) 若采用理想低通滤波器恢复 $f(t)$, 则滤波器的截止频率应该为 $2f_0$ 。

(3) 把 $f(t)$ 看成低通信号, $f_H = 2f_0$, 则最低的抽样频率为

$$f_s = 2f_H = 2 \times 2f_0 = 4f_0$$

(4) 把 $f(t)$ 看成带通信号, $f_H = 2f_0$, $f_L = 0$, 则信号带宽

$$B = f_H - f_L = 2f_0$$

最低的抽样频率为

$$f_s = 2B \left(1 + \frac{m}{k} \right) = 2B = 4f_0$$

 2.4 某信号的幅度概率密度函数 $p(u) = \frac{1}{0.8\sqrt{2}} e^{-|u|/\frac{\sqrt{2}}{0.8}}$, 若考虑非过载范围 $|u| \leq 8$

V, 对该信号用 5 位码进行二进制线性编码, 求编码后的量化噪声功率及量化信噪比。

解

$$\Delta = \frac{8 - (-8)}{32} = 0.5$$

% 量化信噪比计算

clear all;

close all;

syms x;

s = 0;

q = 0;

f = 1/(0.8 * sqrt(2)) * exp(-sqrt(2)/0.8 * x); % 信号的幅度概率密度函数

for i = 0:15 % 求信号功率 $S_q = E[y_k * y_k]$

s0 = eval(int((i * 0.5 + 0.25)^2 * f, i * 0.5, (i + 1) * 0.5)); % 积分

s = s + s0;

end

s = 2 * s;

s

for k = 0:15 % 求噪声功率 $N_q = E[e_q * e_q]$

q0 = eval(int(((k * 0.5 + 0.25) - x)^2 * f, k * 0.5, (k + 1) * 0.5));

q = q + q0;

```

end
q = 2 * q;
q
SNR = s/q;           % 求信噪比
SNR
% 程序结束

```

程序输出如下：

s =

0.6624

q =

0.0214

SNR =

31.0006

2.5 设折线压缩特性如下表所示：

X	0	1/8	1/4	1/2	1
Y	0	1/4	2/4	3/4	1

当量化级数为 128, 最小量化间隔为 Δ 时, 试求：

- (1) 各个量化段的量化间隔 Δ_i ?
- (2) 段落码和段内码的位数各是多少?

解

(1) 由于总量化级数为 $L=128$, 折线共分为 4 段, 则每段内再进行 $128/4=32$ 级均匀量化, 最小量化间隔为

$$\Delta = \frac{1}{8} / 32 = \frac{1}{256}$$

各个量化段的量化间隔为

$$0 \sim 1/8: \Delta_1 = \frac{1}{8} / 32 = \frac{1}{256}$$

$$1/8 \sim 1/4: \Delta_2 = \frac{1}{8}/32 = \frac{1}{256}$$

$$1/4 \sim 1/2: \Delta_3 = \frac{1}{4}/32 = \frac{1}{128}$$

$$1/2 \sim 1: \Delta_4 = \frac{1}{2}/32 = \frac{1}{64}$$

(2) 编码总位数

$$K = \log_2 128 = 7 \text{ bit}$$

由于折线分为四段,所以段落码为2位,段内码为5位。

2.6 已知输入信号概率密度为

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1 - \frac{|x|}{V}}{V}, & |x| < V \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

试求:

(1) 若采用线性量化,且量化信噪比不低于 50 dB,该量化器的量化级数最少为多少? 需要编几位码?

(2) 若输入信号的频带为 0~20 kHz,编码速率为多少?

解

(1) 采用线性量化器,若要求

$$10 \lg S/N \geq 50 \text{ dB}$$

则有

$$S/N \approx M^2 \geq 10^5$$

$$M \geq 316.228$$

取最小量化级数 $M=512$,需要编码的位数为 $K = \log_2 M = 9 \text{ bit}$ 。

(2) 若输入信号的频带为 0~20 kHz,抽样速率为

$$f_s = 2f_H = 40 \text{ kHz}$$

因此编码速率

$$R = 40 \text{ kHz} \times 9 \text{ bit} = 360 \text{ kbit/s}$$

2.7 黑白电视信号的带宽大约为 5 MHz,如果按 256 级量化,计算根据抽样定理抽样时的数据速率。如果电视节目按 25 帧/秒发送,则存储一帧黑白电视节目的数字化数据需要多大空间?

解

由抽样定理得,对黑白电视信号进行抽样的频率应为

$$f_s = 2f_H = 10 \text{ MHz}$$

可得抽样时的数据速率为

$$R_s = f_s \times \log_2 256 = 80 \text{ Mbit/s}$$

每秒钟发送 25 帧,则存储一帧黑白电视节目的数字化数据需要的存储空间为

$$80 \text{ Mbit}/25 = 3.2 \text{ Mbit}$$

 2.8 有两个信源 X 和 Y 如下:

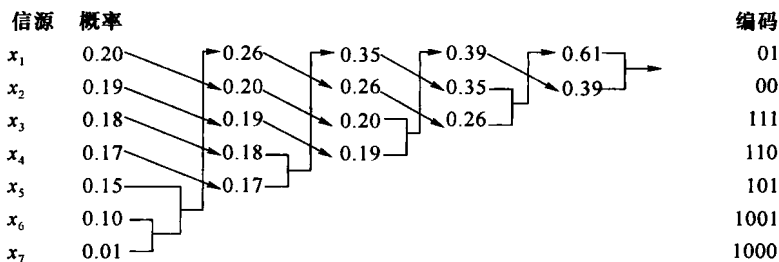
$$\begin{pmatrix} X \\ P(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 \\ 0.20 & 0.19 & 0.18 & 0.17 & 0.15 & 0.10 & 0.01 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Y \\ P(y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 & y_6 & y_7 & y_8 & y_9 \\ 0.49 & 0.14 & 0.14 & 0.07 & 0.07 & 0.04 & 0.02 & 0.02 & 0.01 \end{pmatrix}$$

分别对其进行霍夫曼编码,并计算平均码长。

解

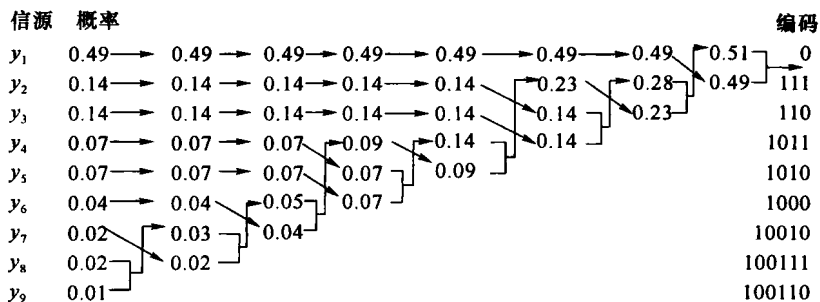
(1) 对于信源 X



平均码长

$$L = \sum_{i=1}^8 P(x_i) k_i = 2.72 \text{ bit/symbol}$$

(2) 对于信源 Y



平均码长

$$L = \sum_{i=1}^8 P(x_i) k_i = 2.33 \text{ bit/symbol}$$