《信息论与编码》

实验指导书

北京工商大学计算机与信息工程学院

2011.9

绪论 实验系统概述

一、 概述

通信原理综合实验系统中，涉及有数字调制解调技术、纠错编译码技术、语音编码技术、数字复接技术、基带传输技术、电话接口技术、数字接口技术等。该系统将当今的核心技术和新器件融入通信原理课程，其具有以下特点：

1. 先进性：数字信号处理（DSP）技术+PFGA 技术；
2. 全面性：通过这些测试接口，可以对每一种电路模块的功能和性能有一个全面的了解。
3. 系统性：每个电路测试模块可以放入多个系统中进行综合实验，
4. 基础性：与当今通信原理课程和教学大纲结合紧密；

1、电路组成概述

在通信原理综合实验系统中，主要由下列功能模块组成：

1、 显示控制模块
2、 FPGA 初始化模块
3、 信道接口模块
4、 DSP+FPGA 处理模块
5、 D/A 模块
6、 中频调制模块
7、 中频解调模块
8、 A/D 模块
9、 测试模块
10、 汉明编码模块
11、 汉明译码模块
12、 噪声模块
13、 电话接口（1、2）模块
14、 DTMF（1、2）模块
15、 PAM 模块
16、 ADPCM（1、2）模块
17、 CVSD 发模块
18、 CVSD 收模块
19、 帧传输复接模块
20、 帧传输解复接模块
21、 AMI/HDB3 码模块
22、 CMI 编码模块
23、 CMI 译码模块
24、 模拟锁相环模块
25、 数字锁相环模块

在该硬件平台中，模块化功能较强，其电路布局见图 1 所示。对于每一个模块，在 PCB 板上均由白色线条将其明显分割开来，每个测试模块都能单独开设实验，便于教学与学习。

在通信原理综合实验系统中，电源插座与电源开关在机箱的后面，电源模块在该实验平台电路板的下面，它主要完成交流~220V 到+5V、+12V、-12V 的直流变换，给整个硬件平台供电。

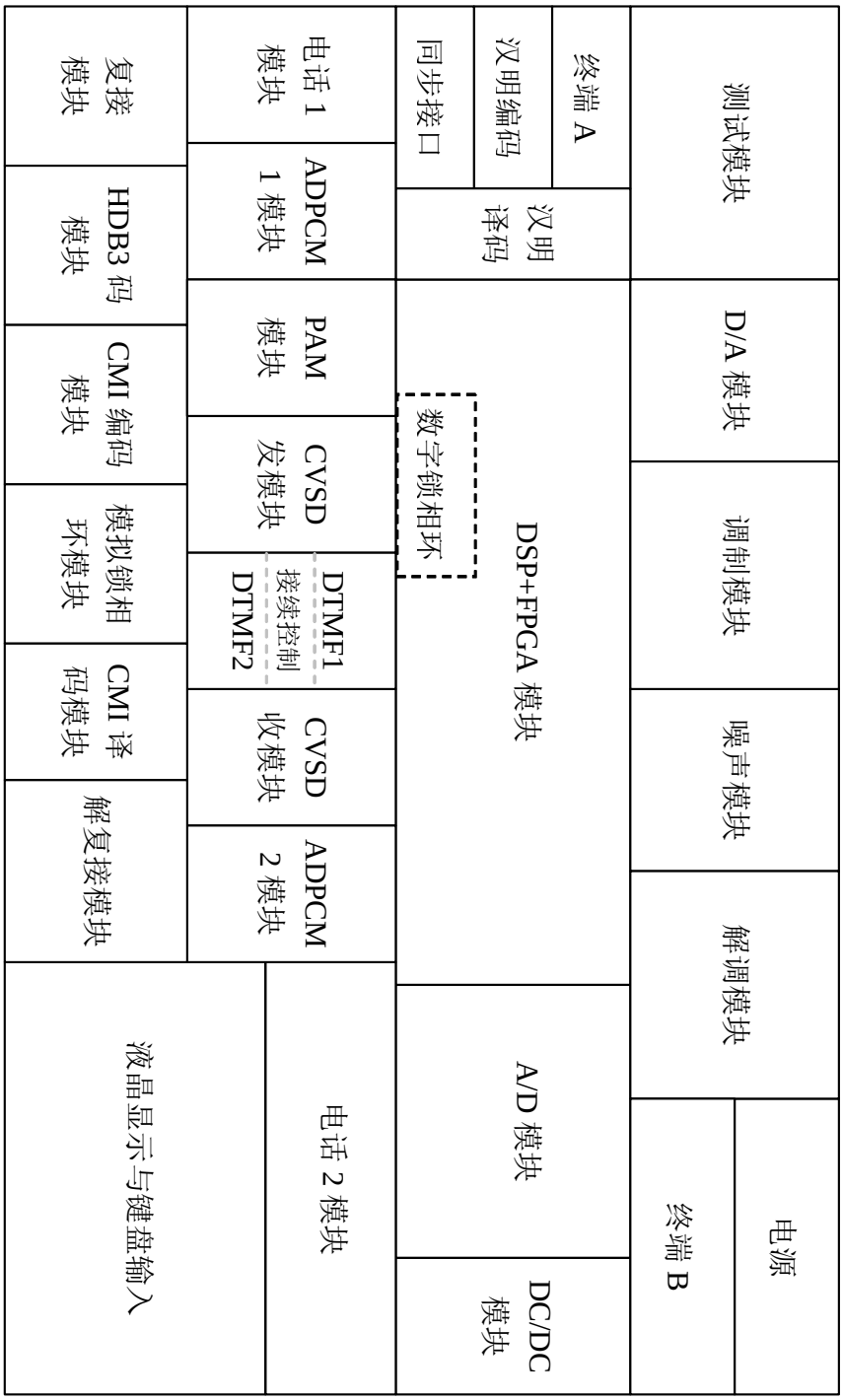


图 1 通信原理综合实验系统布局图

实验一 汉明码系统

一、 实验原理和电路说明

差错控制编码的基本作法是：在发送端被传输的信息序列上附加一些监督码元，这些多余的码元与信息之间以某种确定的规则建立校验关系。接收端按照既定的规则检验信息码元与监督码元之间的关系，一旦传输过程中发生差错，则信息码元与监督码元之间的校验关系将受到破坏，从而可以发现错误，乃至纠正错误。

通信原理综合实验系统中的纠错码系统采用汉明码（7，4)。所谓汉明码是能纠正单个错误的线性分组码。它有以下特点：

码长	$n=2^m-1$	最小码距 d=3
信息码位	$k=2^n-m-1$	纠错能力 t=1
监督码位	r=n-k	

这里 m 位≥2 的正整数，给定 m 后，既可构造出具体的汉明码（n，k)。

汉明码的监督矩阵有 n 列 m 行，它的 n 列分别由除了全 0 之外的 m 位码组构成，每个码组只在某列中出现一次。系统中的监督矩阵如下图所示：

$$H=\begin{bmatrix}1&1&1&0&1&0&0\\0&1&1&1&0&1&0\\1&1&0&1&0&0&1\end{bmatrix}$$

其相应的生成矩阵为：

$$G=\begin{bmatrix}1&0&0&0&1&0&1\\0&1&0&0&1&1&1\\0&0&1&0&1&1&0\\0&0&0&1&0&1&1\end{bmatrix}$$

汉明译码的方法，可以采用计算校正子，然后确定错误图样并加以纠正的方法。

图 2 和图 3 给出汉明编码器和译码器电原理图。

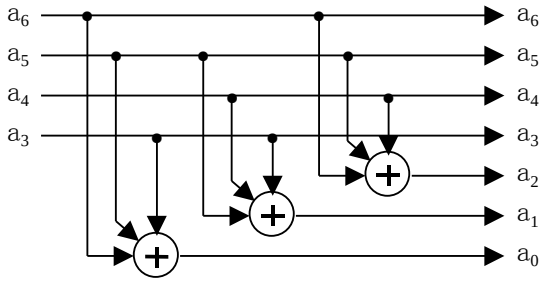


图 2 汉明编码器电路原理图

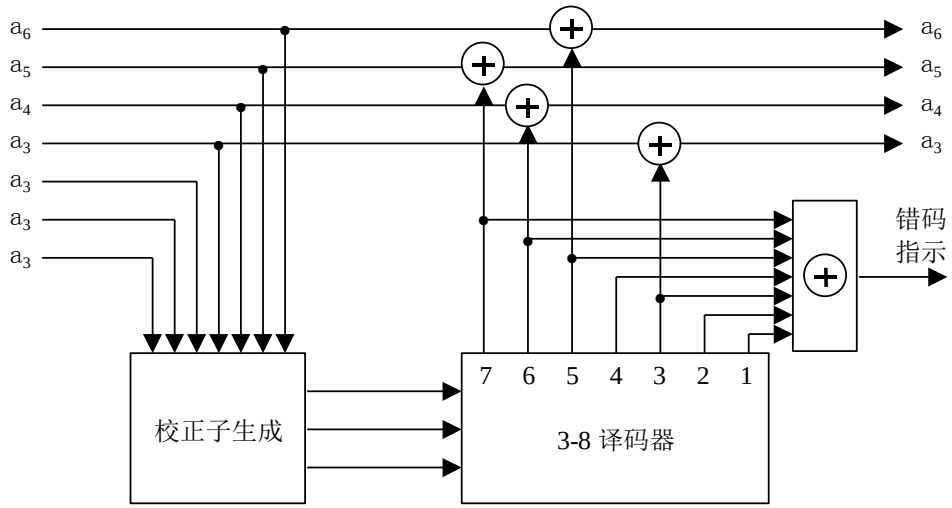


图 3 汉明译码器电路原理图

表 1 为（7，4）汉明编码输入数据与监督码元生成表。编码输出数据最先输出是 $a_6$bit，其次是 a_5、a_4……，最后输出 a_0 位。

表 1 （7，4）汉明编码输入数据与监督码元生成表

4 位信息位 a_6, a_5, a_4, a_3	3 位监督码元 a_2, a_1, a_0	4 位信息位 a_6, a_5, a_4, a_3	3 位监督码元 a_2, a_1, a_0
0000	000	1000	101
0001	011	1001	110
0010	110	1010	011
0011	101	1011	000
0100	111	1100	010
0101	100	1101	001
0110	001	1110	100
0111	010	1111	111

汉明编译码模块实验电路功能组成框图见图 4 和图 5 所示。

汉明编码模块实验电路工作原理描述如下：

1、输入数据：汉明编码输入数据可以来自 ADPCM1 模块的 ADPCM 码字，或来自同步数据端口数据、异步端口数据、CVSD 编码数据、m 序列。选择 ADPCM 码字由工作方式选择开关 SWC01 中的 ADPCM 状态决定，当处于 ADPCM 状态时（插入跳线器），汉明编码器对 ADPCM 信号编码；否则处于非 ADPCM 状态时（拔除跳线器），输入编码数据来自开关 KC01 所设置的位置，分别为同步数据端口数据、异步端口数据、CVSD 编码数据、m 序列。

2、m 序列发生器：m 序列用于测试汉明编码规则，输出信号与开关 KWC01 位置表 2 所示：

表 2 跳线器 KWC01 与产生输出数据信号

选 项	KWC01 设置状态			
M_SEL2	□ □	□—□	□ □	□—□
M_SEL1	□ □	□ □	□—□	□—□
m 序列	0/1 码	00/11 码	0110111	15 位码长

3、编码使能开关：此开关应与接收端汉明译码器使能开关同步使用，该开关处于使能状态（H_EN 短路器插入），汉明码编码器工作；否则汉明码编码器不工作。需注意：汉明码编码器不工作时，ADPCM 和 CVSD 话音数据无法通话，这是因为编码速率与信道速率不匹配。

4、错码产生：错码产生专门设计用于测量汉明译码器的纠错和检错性能。输出错码与开关 KWC01 位置参见表 3 所示：

表 3 跳线器 KWC01 与插入错码信号

选 项	KWC01 设置状态			
E_MOD0	□ □	□—□	□ □	□—□
E_MOD1	□ □	□ □	□—□	□—□
错码序列	无错码	错 1 位	错 2 位	错更多

错码可以用示波器从错码指示端口监测。

汉明编码模块各测试点定义：

1、TPC01：输入数据

2、TPC02：输入时钟

3、TPC03：编码模块输出数据（56Kbtps/BPSK/DBPSK）

4、TPC04：编码模块输出时钟（56KHz/BPSK/DBPSK）

5、TPC05：错码指示（无加错时，该点为低电平。）

汉明译码模块实验电路工作原理描述如下：

1、输入信号选择开关：开关 KW01、KW01 用于选择输入信号和时钟是来自解调器信道或直接来自汉明编码模块。当 KW01、KW01 设置在 1_2 位置（CH：左端），则输入信号来自信道；开关 KW01、KW01 设置在 2_3 位置（LOOP：右端），则输入信号来自汉明编码模块。

2、汉明译码器：主要由串/并变换器、校正子生成器、3/8 译码器和纠错电路构成。该电路专门由一个 CPLD（EPM7128）实现。

3、汉明译码使能开关：SW03 中 H_EN 与发端编码使能开关同步使用。

汉明译码模块各测试点定义：

1、TPC01：输入时钟（56KHz BPSK/DBPSK）

2、TPC02：输入数据（56Kbtps BPSK/DBPSK）

3、TPC03：检测错码指示

4、TPC04：输出时钟

5、TPC05：CVSD 数据输出

6、TPC06：同步数据输出

7、TPC07：m 序列输出

8、TPC08：异步数据输出

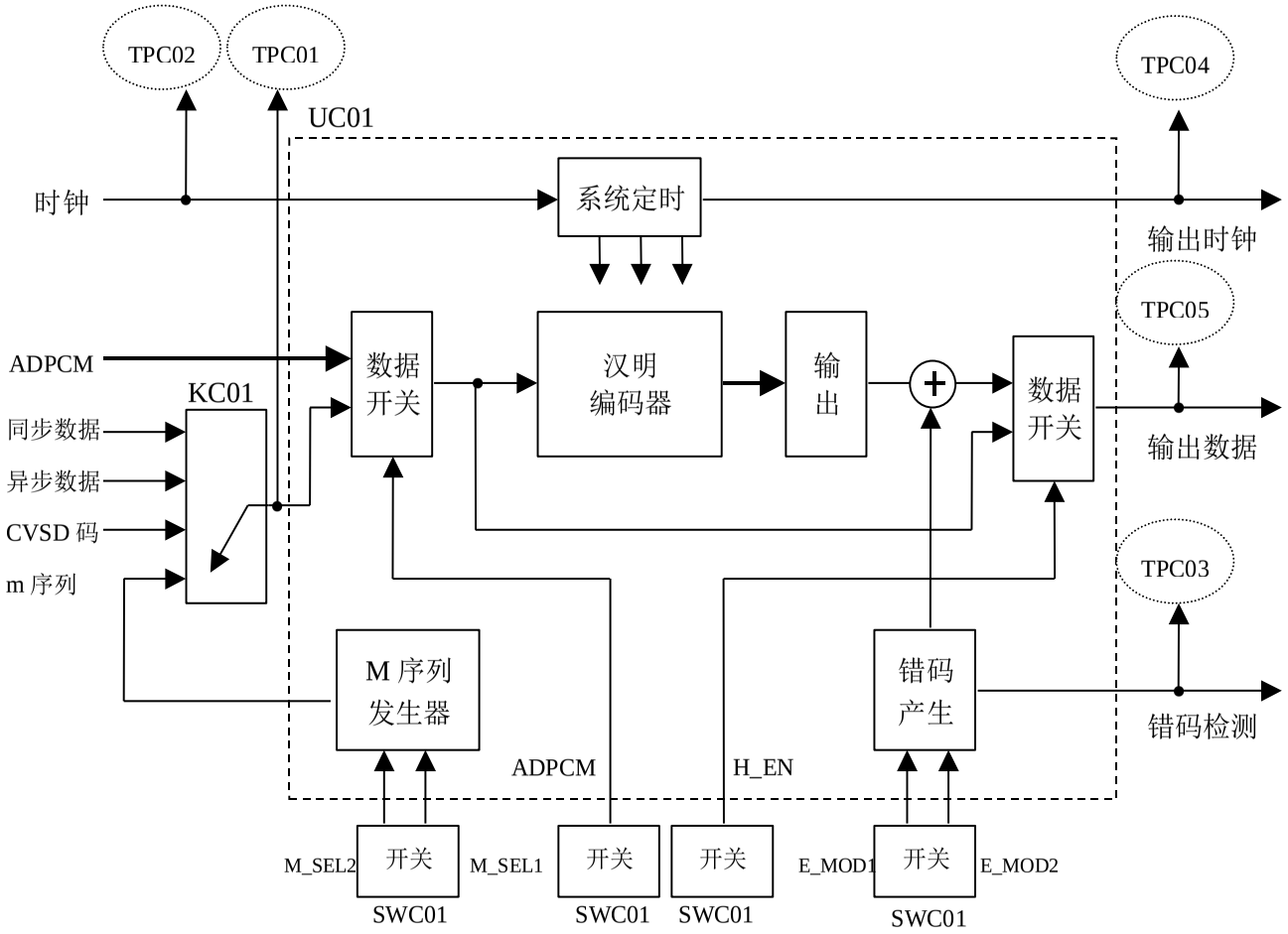


图 3.4.4　汉明编码模块电路功能组成框图

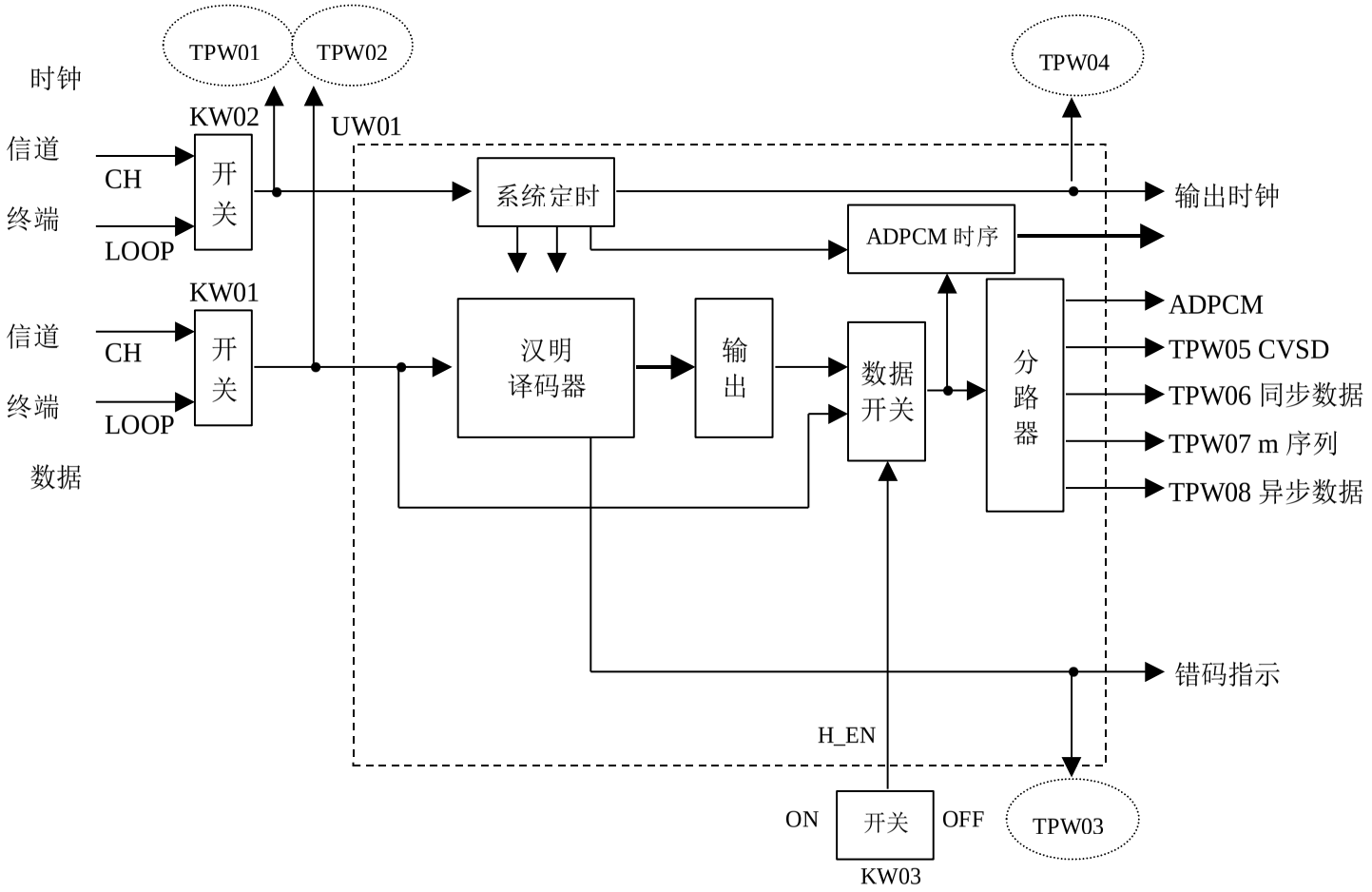


图 3.4.5　汉明译码模块电路功能组成框图

二、 实验仪器

1、JH5001 通信原理综合实验系统 一台
2、20MHz 双踪示波器 一台
3、JH9001 型误码测试仪（或 GZ9001 型） 一台
4、频谱测量仪 一台

三、 实验目的

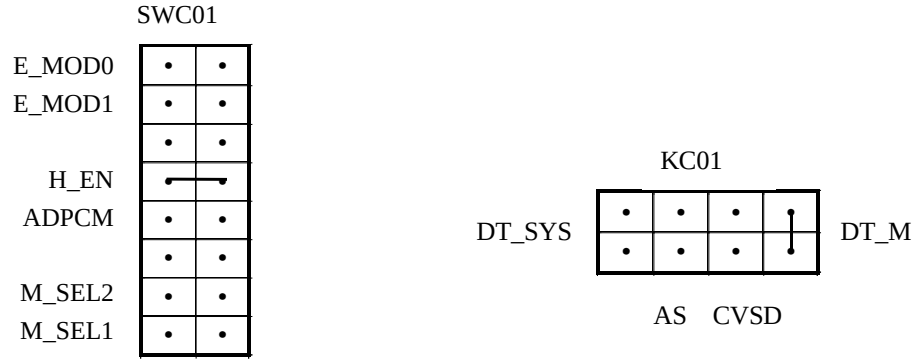
1、通过纠错编解码实验，加深对纠错编解码理论的理解；

四、 实验内容

准备工作：

（1）首先通过菜单将调制方式设置为 BPSK 或 DBPSK 方式；将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中，编码使能开关插入（H_EN），ADPCM 数据断开（ADPCM）；将输入数据选择开关 KC01 设置在 m 序列（DT_M）位置；设置 m 序列方式为（00：M_SEL2 和 M_SEL1 拔下），此时 m 序列输出为 1/0 码。

（2）将汉明译码模块内输入信号和时钟选择开关 KW01、KW02 设置在 LOOP 位置（右端），



输入信号直接来自汉明编码模块；将译码器使能开关 KW03 设置在工作位置 0N（左端）。

1. 编码规则验证

（1）用示波器同时观测编码输入信号 TPC01 波形和编码输出波形 TPC05，观测时以 TPC01 同步，观测是否符合汉明编码规则（参见表 3.4.1 所示）。注意此时输入、输出数据速率不同，输入数据速率为 32Kbps，输出数据速率为 56Kbps。

（2）设置 m 序列方式为（10：M_SEL2 插入、M_SEL1 拔下），此时 m 序列输出为 11/00 码（参见表 3.4.2 所示）。用示波器同时观测编码输入信号 TPC01 波形和编码输出波形 TPC05，观测时以 TPC01 同步，观测是否符合汉明编码规则。

（3）设置其它 m 序列方式，重复上述测量步骤。

注：其它两种 m 序列周期因非 4bit 的倍数，观测时要仔细调整示波器才能观测。

2. 译码数据输出测量

（1）用示波器同时观测汉明编码模块的编码输入信号 TPC01 波形和汉明译码模块译码输出 m 序列波形 TPW07，观测时以 TPC01 同步。测量译码输出数据与发端信号是否保持一致。

（2）设置不同的 m 序列方式，重复上述实验，验证汉明编译码的正确性。

问题与思考：当 m 序列产生输出 0/1 码或 00/11 码或 7 位周期序列时（都是短周期性数据），观

测译码接收和发送数据信号一致，此时保持跳线开关和设置不变，将通信原理实验箱关机后在开机。此时有可能发生译码输出数据与编码数据有不一致。如不一致，可将 SWC01 中的 ADPCM 开关插入再断开（加入一段随机数据），此时译码输出数据与编码数据又一致，这是为什么（参照表 3.4.1 进行分析）？在实际通信中如何解决这问题？

3. 译码同步过程观测

将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 的编码使能开关插入（H_EN）；ADPCM 数据有效（ADPCM）。将汉明译码模块的输入信号和时钟选择开关 KW01、KW02 设置在 2_3 位置（右端），输入信号直接来自汉明编码模块。

（1）用示波器检测汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03。将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 的编码使能开关断开（H_EN），使汉明译码模块失步，观测 TPC03 变化；将编码使能开关插入（H_EN），观测汉明译码的同步过程，记录测量结果。

（2）将 ADPCM 数据换为 m 序列，重复上述测量步骤，分析测量结果。

4. 发端加错信号观测

将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 的编码使能开关插入（H_EN）；ADPCM 数据有效（ADPCM）。将汉明译码模块内输入信号和时钟选择开关 KW01、KW02 设置在 LOOP 位置（右端），输入信号直接来自汉明编码模块；将译码器使能开关 KW03 设置在工作位置 0N（左端）。

（1）用示波器同时测量汉明编码模块内加错指示 TPC03 和汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03 的波形，观测时以 TPC03 同步。此时无错码。

（2）将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 的加错开关 E_MOD0 接入，产生 1 位错码，定性观测明译码能否检测出错码，记录结果。

（3）将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 的加错开关 E_MOD1 接入，产生 2 位错码，定性观测明译码能否检测出错码，记录结果。

（4）将汉明编码模块工作方式选择开关 SWC01 的加错开关 E_MOD0、E_MOD1 都插入，产生更多错码，定性观测明译码能否检测出错码和失步，记录结果。

五、实验报告

1、画出输入为 0/1 码、00/11 码和 1110010m 序列码的汉明编码输出波形。

2、分析整理测试数据。

3、分析讨论汉明编码系统的性能及应用的局限性。

实验二 汉明纠错编码通信系统综合测试

一、 实验原理

信号在无线信道中传输，由于受噪声、衰落、码间串扰、干扰等影响，最终在接收端恢复的信号会出现差错，即误码。本实验将汉明编译码接入实际信道中，通过加错（4 种模式可选）测量在不同的误码率时对数据或话音业务的实际影响，加深学生对汉明码纠错性能掌握。实验的系统连接框图见图 6 所示。

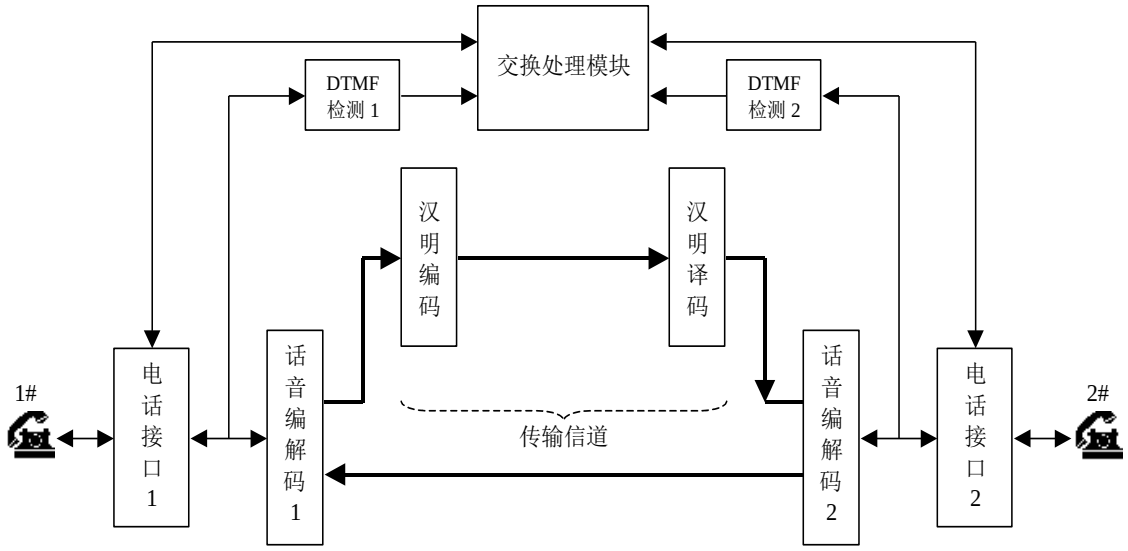


图 6 汉明纠错编码系统测试

二、 实验仪器

1、JH5001 通信原理综合实验系统 一台
2、20MHz 双踪示波器 一台
3、电话机 二部

三、 实验目的

1、 掌握汉明编译码器的作用
2、 熟悉汉明编译码器在通信系统中的地位及发挥的作用

四、 实验内容

准备工作：

（1）将通信原理综合实验系统上电话 1 模块内发、收增益选择跳线开关 K101、K102 设置在 N 位置（左端），电话 2 模块内发、收增益选择跳线开关 K201、K202 设置在 N 位置（左端）；DTMF1 模块内增益选择跳线开关 K301 设置在 N 位置（左端），DTMF2 模块内增益选择跳线开关 K401 设置在 N 位置（左端）；ADPCM1 模块内输入信号选择跳线开关 K501 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K502、K503 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K504 设置在 ADPCM2 位置（中间）；ADPCM2 模块内输入信号选

择跳线开关 K601 设置在 N 位置（左端），发、收增益选择跳线开关 K602、K603 设置在 N 位置（1_2：左端），输入数据选择跳线开关 K604 设置在 CH 位置（左端）。

（2）DTMF1 模块内增益选择跳线开关 K301 设置在 N 位置（左端），DTMF2 模块内增益选择跳线开关 K401 设置在 N 位置（左端）；

（3）将汉明编码模块跳线开关 SWC01 中 ADPCM、H_EN 短路器插入，其余拔除（00110000），将汉明译码模块跳线开关输入数据和时钟选择跳线开关 KW01、KW01 设置在直通 LOOP 位置（右边），汉明译码使能开关 KW03 设置在工作 ON 位置（左端）；

（4）将 2 部电话机分别接入 PHONE1 和 PHONE2 插座。

（5）加电后用示波器测量测试点 TPMZ07 有脉冲则系统运行正常。

（6）通过菜单选择调制方式为“BPSK 传输系统”，调制器输入信号为“外部数据信号”工作方式设定“ADPCM 编码”方式。

注：系统中仅 ADPCM1 至 ADPCM2 方向经过纠错信道传输，ADPCM2 至 ADPCM1 信道传输现设置为直通。

1. 不同误码率下汉明系统对 ADPCM 话音通信质量测量

(1)首先通过电话拨号接通电话，使两端电话处于正常通话状态。如不能通话请检查各跳线器设置是否正确。通过电话机 1 讲话，听 ADPCM1 至 ADPCM2 纠错信道传输的话音信号质量。测量时可以用示波器监测汉明译码模块内错码检测指示输出波形 TPW03 的波形，此时无错码。

(2)将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 E_MOD0 接入，插入 1 位错码，主观判定通话质量，并与上述测量结果比较，记录测量结果。

(3)将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 E_MOD1 接入、E_MOD0 拔除，插入 2 位错码，重复上述测量步骤，记录测量结果。

(4)将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 中开关 M_SEL1、M_SEL2 都插入插入，插入更多错码，重复上述测量步骤，记录测量结果。

2. 不同误码率下汉明系统对 CVSD 话音通信质量测量

CVSD 话音编码方式的设置：先按准备工作设置各跳线器，然后将汉明编码模块内工作方式选择开关 SWC01 设置位 00010000，去掉 ADPCM 方式，将外部输入信号选择开关 KC01 设置在 CVSD 位置；将 PAM 模块内输入信号选择开关 K701 设置在 N 位置（左端），输入滤波器选择开关 K702 设置在 F 位置（左端）；将交换模块取样时钟方式设置在 H（左端）；将 CVSD 发模块内输入信号选择开关 K801 设置在 PAM 位置（左端），CVSD 收模块内输入数据和时钟选择开关 K901 、K902 设置在 CH 位置（左端：来自信道）；将电话 2 模块内输入数据选择开关 K203 设置 CVSD 位置（右端）。

测试方法同 ADPCM 话音业务测试，请学生自己组织实施。

注意将 CVSD 话音传输质量与 ADPCM 话音业务进行比较。

3. 汉明编译码电路故障或异常对话音业务的影响测试

通过断开汉明编码模块的输入数据信号、将输入数据设置在 m 序列码输入、ADPCM 译码时输入 CVSD 码信号、CVSD 译码时输入 ADPCM 码信号等设置不同的故障或错误。让同学通过观测故障现象和测量，，分析故障原因，培养学生分析问题和解决问题的能力。具体测试在老师的指导下由学生自己组织完成。

五、实验报告

1、整理分析实验结果。

2、比较 ADPCM 话音编码和 CVSD 话音编码抗误码的性能。