

移动通信系统实验指导书

刘立程 王昆 刘智平

广东工业大学信息工程学院

2017. 7. 1

目录

I、实验基本模块介绍.....	2
1、主控&信号源模块.....	3
2、4号模块 信道编码及交织模块.....	13
3、5号模块 信道译码及解交织模块.....	15
4、10号模块 软件无线电调制模块.....	16
5、11号模块 软件无线电解调模块.....	19
6、12号模块 AMBE 语音压缩模块.....	21
7、14号模块 CDMA 发送模块.....	23
8、15号模块 CDMA 接收模块.....	26
II、实验基本操作说明.....	34
III、示波器常用信号观察.....	35
一、稳定观测 PN 序列.....	35
二、星座图观测.....	35
三、眼图观测.....	35
IV、实验内容.....	36
实验一 GSM 通信系统实验.....	36
实验二 CDMA 扩频通信系统实验.....	40

I、实验基本模块介绍

本实验平台采用模块化设计，主要由标配模块和选配模块组成。

下面主要介绍移动通信实验平台中的九个标配模块，以便了解各模块的具体功能及作用。

标配模块包括有：

- 1、 主控&信号源模块
- 2、 4 号模块 信道编码及交织模块
- 3、 5 号模块 信道译码及解交织模块
- 4、 10 号模块 软件无线电调制模块
- 5、 11 号模块 软件无线电解调模块
- 6、 12 号模块 AMBE 语音压缩模块
- 7、 14 号模块 CDMA 发送模块
- 8、 15 号模块 CDMA 接收模块

1、主控&信号源模块

一、 按键及接口说明

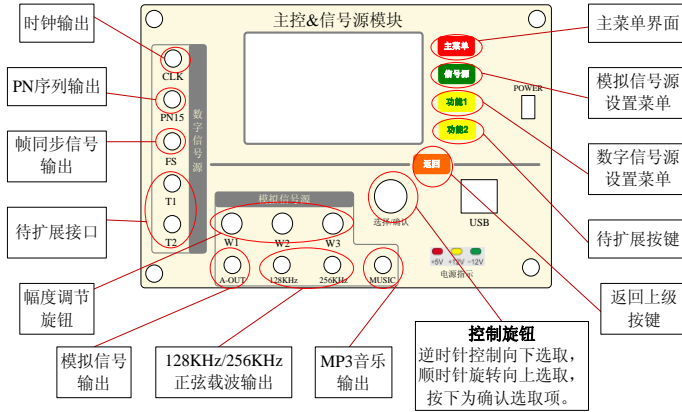


图 1 主控&信号源按键及接口说明

二、 功能说明

该模块可以完成如下五种功能的设置，具体设置方法如下：

1、 模拟信号源功能

模拟信号源菜单由“信号源”按键进入，该菜单下按“选择/确定”键可以依次设置：“输出波形”→“输出频率”→“调节步进”→“音乐输出”→“占空比”（只有在输出方波模式下才出现）。在设置状态下，选择“选择/确定”就可以设置参数了。菜单如下图所示：

模拟信号源
输出波形: 正弦波
输出频率: 0001.00KHz
调节步进: 10Hz
音乐输出: 音乐1

(a) 输出正弦波时没有占空比选项

模拟信号源
输出波形: 方波
输出频率: 0001.00KHz
调节步进: 10Hz
音乐输出: 音乐1
占空比: 50%

(b) 输出方波时有占空比选项

图 2 模拟信号源菜单示意图

注意：上述设置是有顺序的。例如，从“输出波形”设置切换到“音乐输出”需要按 3 次“选择/确定”键。

下面对每一种设置进行详细说明：

a. “输出波形”设置

一共有 6 种波形可以选择：

正弦波：输出频率 10Hz~2MHz

方波：输出频率 10Hz~200KHz

三角波：输出频率 10Hz~200KHz

DSBFC（全载波双边带调幅）：

由正弦波作为载波，音乐信号作为调制信号。输出全载波双边带调幅。

DSBSC（抑制载波双边带调幅）：

由正弦波作为载波，音乐信号作为调制信号。输出抑制载波双边带调幅。

FM：载波固定为 20KHz，音乐信号作为调制信号。

b. “输出频率”设置

“选择/确定”顺时针旋转可以增大频率，逆时针旋转减小频率。频率增大或减小的步进值根据“调节步进”参数来。

在“输出波形”DSBFC 和 DSBSC 时，设置的是调幅信号载波的频率；

在“输出波形”FM 时，设置频率对输出信号无影响。

c. “调节步进”设置

“选择/确定”顺时针旋转可以增大步进，逆时针旋转减小步进。步进分为：“10Hz”、“100Hz”、“1KHz”、“10KHz”、“100KHz”五档。

d. “音乐输出”设置

设置“MUSIC”端口输出信号的类型。有三种信号输出“音乐 1”、“音乐 2”、“3K+1K 正弦波”三种。

e. “占空比”设置

“选择/确定”顺时针旋转可以增大占空比，逆时针旋转减小占空比。占空比调节范围

10%~90%，以 10%为步进调节。

2、数字信号源功能

数字信号源菜单由“功能 1”按键进入，该菜单下按“选择/确定”键可以设置：“PN 输出频率”和“FS 输出”。菜单如下图所示：

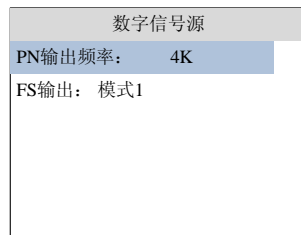


图 3 数字信号源菜单

a. “PN 输出频率”设置

设置“CLK”端口的频率及“PN”端口的码速率。频率范围：1KHz~2048KHz。

b. “FS 输出”设置

设置“FS”端口输出帧同步信号的模式：

模式 1： 帧同步信号保持 8KHz 的周期不变，帧同步的脉宽为 CLK 的一个时钟周期。
(要求“PN 输出频率”不小于 16K，主要用于 PCM、ADPCM 编译码帧同步及时分复用实验)

模式 2： 帧同步的周期为 8 个 CLK 时钟周期，帧同步的脉宽为 CLK 的一个时钟周期。
(主要用于汉明码编译码实验)

模式 3： 帧同步的周期为 15 个 CLK 时钟周期，帧同步的脉宽为 CLK 的一个时钟周期。
(主要用于 BCH 编译码实验)

3、实验菜单功能操作说明

以通信原理为例，按“主菜单”按键后的第一个选项“通信原理实验”，再确定进入各实验菜单。如下图所示：

设置该模块 BSOUT 的时钟频率。

c. 3号 信源编译码

可设置该模块 FPGA 工作于“PCM 编译码”、“ADPCM 编译码”、“LDM 编译码”、“CVSD 编译码”、“FIR 滤波器”、“IIR 滤波器”、“反 SINC 滤波器”等功能（测试功能是在生产中使用的）。由于模块的端口会在不同功能下有不同用途，下面对每一种功能进行说明：

i. PCM 编译码

FPGA 完成 PCM 编译码功能，同时完成 PCM 编码 A/ μ 律或 μ /A 律转换的功能。其子菜单还能够设置 PCM 编译码 A/ μ 律及 A/ μ 律转换的方式。端口功能如下：

- 编码时钟： 输入编码时钟。
- 编码帧同步： 输入编码帧同步。
- 编码输入： 输入编码的音频信号。
- 编码输出： 输出编码信号。
- 译码时钟： 输入译码时钟。
- 译码帧同步： 输入译码帧同步。
- 译码输入： 输入译码的 PCM 信号。
- 译码输出： 输出译码的音频信号。
- A/ μ -In: A/ μ 律转换输入端口。
- A/ μ -Out: A/ μ 律转换输出端口。

ii. ADPCM 编译码

FPGA 完成 ADPCM 编译码功能，端口功能和 PCM 编译码一样。

iii. LDM 编译码

FPGA 完成简单增量调制编译码功能，端口除了“编码帧同步”和“译码帧同步”是没用到的（LDM 编译码不需要帧同步），其他端口功能与 PCM 编译码一样。

iv. CVSD 编译码

FPGA 完成 CVSD 编译码功能，端口除了“编码帧同步”和“译码帧同步”是没用到的（CVSD 编译码不需要帧同步），其他端口功能与 PCM 编译码一样。

v. FIR 滤波器

FPGA 完成 FIR 数字低通滤波器功能（采用 100 阶汉明窗设计，截止频率为 3KHz）。该功能主要用于抽样信号的恢复。端口说明如下：

编码输入： FIR 滤波器输入口。

译码输出： FIR 滤波器输出口。

vi. IIR 滤波器

FPGA 完成 IIR 数字低通滤波器功能（采用 8 阶椭圆滤波器设计，截止频率为 3KHz）。该功能主要用于抽样信号的恢复。端口与 FIR 滤波器相同。

vii. 反 SINC 滤波器

FPGA 完成反 SINC 数字低通滤波器。该功能主要用于消除抽样的孔径效应。端口与 FIR 滤波器相同。

d. 7号 时分复用&时分交换

功能一是设置时分复用的速率 256Kbps/2048Kbps。功能二是当复用速率为 2048Kbps 时，调整 DIN4 时隙。

e. 8号 基带编译码

设置该模块 FPGA 工作在“AMI”、“HDB3”、“CMI”、“BPH”编译码模式。

f. 10号 软件无线电调制

设置该模块的 BPSK 的具体参数。具体参数有：

是否差分： 设置输入信号是否进行差分，即是 BPSK 还是 DBPSK 调制。

PSK 调制方式选择： 设置 BPSK 调制是否经过成形滤波。

输出波形设置： 设置“I-Out”端口输出成形滤波后的波形或调制信号。

匹配滤波器设置： 设置成形滤波为升余弦滤波器或根升余弦滤波器。

基带速率选择： 设置基带速率为 16Kbps、32Kbps、56Kbps。

g. 11号 软件无线电解调

设置该模块的两个参数，BPSK 解调是否需要逆差分变换和解调速率。

5、系统升级

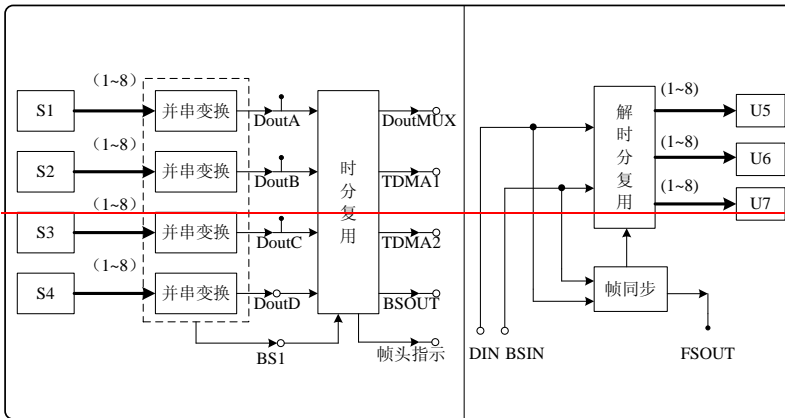
此选项用于模块内部程序升级时使用。

三、注意事项

- 1、实验开始时要将所需模块固定在实验箱上，并确定接触良好，否则菜单无法设置成功。
- 2、信号源设置中，模拟信号源输出步进可调节，便于不同频率变化调节。

2、2号模块 数字终端&时分多址模块

一、模块框图



带格式的：居中，首行缩进：0 字符

二、模块简介

时分复用(TDMA)适用于数字信号的传输。由于信道的位传输率超过每一路信号的数据传输率,因此可将信道按时间分成若干片段轮换地给多个信号使用。每一时间片由复用的一个信号单独占用,在规定的时间内,多个数字信号都可按要求传输到达,从而也实现了一条物理信道上传输多个数字信号。

带格式的：居中，首行缩进：0 字符

号。

三、模块功能说明

1、时分复用。通过拨码开关设置 4 组数字信号源 (S1、S2、S3、S4) 的数据, 任选一组设置为帧同步码“01110010”, 其它三组设置易于观察的数据。四组数据分别经过并串变换后进入 CPLD 完成时分复用。

2、解时分复用。将时分复用后的信号输入到解时分复用模块, 同时加载一个帧同步信号就得到解复用的信号, 通过 3 组 LED 行阵显示除帧同步码的数字信号。

四、端口说明

模块	端口名称	端口功能
时分复用	S1-S4	数字信号拨码输入
	U1-U4	显示对应的数字输入信号
	DoutA-DoutC	对应数字信号观测点
	DoutD	对应数字信号观测点/8 位数字信号输出
	BS1	位同步时钟信号输入

带格式的: 居中

带格式的: 居中

带格式的: 居中

带格式的: 居中

带格式的: 居中

	DoutMUX	时分复用输出 (DoutA、DoutB、 DoutC、DoutD)
	TDMA1	时分复用输出 (01110010、00110011、 DoutA、DoutB)
	TDMA2	时分复用输出 (01110010、01010101、 DoutC、DoutD)
	BSOUT	位同步信号输出
	帧头指示	帧头指示信号 (仅用于信道编码时的辅 助观测)
解 复 用	DIN	时分复用信号输入
	BSIN	位同步信号输入
	FSOUT	帧同步信号观测点
	U5-U7	显示解复用的信号

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

带格式的：居中

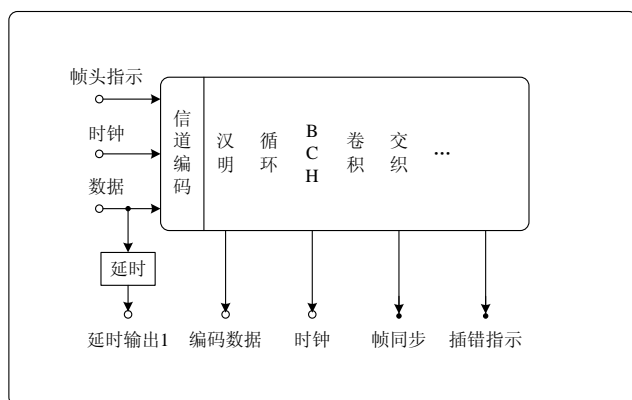
带格式的：居中，首行缩进：0 字符

五、可调参数说明

拨码开关 S1-S4。每一组都有 8 位开关，1 号开关对应数字信号的最高位。拨码开关上拨表示数字信号“1”，下拨表示数字信号“0”。

2、4号模块 信道编码及交织模块

一、模块框图



4# 信道编码模块框图

二、模块简介

数字信号在传输中往往由于各种原因，使得在传送的数据流中产生误码，从而使接收端产生图象跳跃、不连续、出现马赛克等现象。所以通过信道编码这一环节，对数码流进行相应的处理，使系统具有一定的纠错能力和抗干扰能力，可极大地避免码流传送中误码的发生，这就使得信道编译码过程显得尤为重要。

三、模块功能说明

1、 汉明码。汉明码利用了奇偶校验位的概念，通过在数据位后面增加一些比特，不仅可以验证数据是否有效，还能在数据出错的情况下指明错误位置。

2、 循环码。具有某种循环特性的线性分组码。每位代码无固定权值，任何相邻的两个码组中，仅有一位代码不同。

3、 BCH码。BCH码解决了生成多项式与纠错能力的关系问题，可以再给定纠错能力要求的条件下寻找到码的生成多项式。

4、 卷积码。卷积码是一种非分组码，通常适用于前向纠错。

5、 交织码。交织编码的目的是把一个较长的突发差错离散成随机差错，改善移动通信的传输特性。

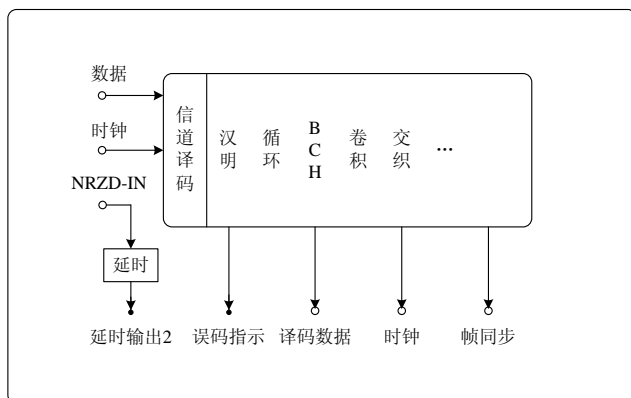
四、端口说明

模块	端口名称	端口说明
编码输入	时钟	编码时钟输入
	数据	数据输入
编码输出	编码数据	编码数据输出
	时钟	编码时钟输出
辅助观测	帧头指示	帧头指示信号观测点（其上跳沿指示了分组的起始位置）
	延时输出 1	延时输出信号观测点
	帧同步	帧同步信号观测点（其上跳沿指示了一组编码输出数据的起始位置）
	插错指示	插错指示观测点（指示插入错码的位置）

不同的编码方式由主控进行设置。

3、5号模块 信道译码及解交织模块

一、模块框图



5# 信道译码模块框图

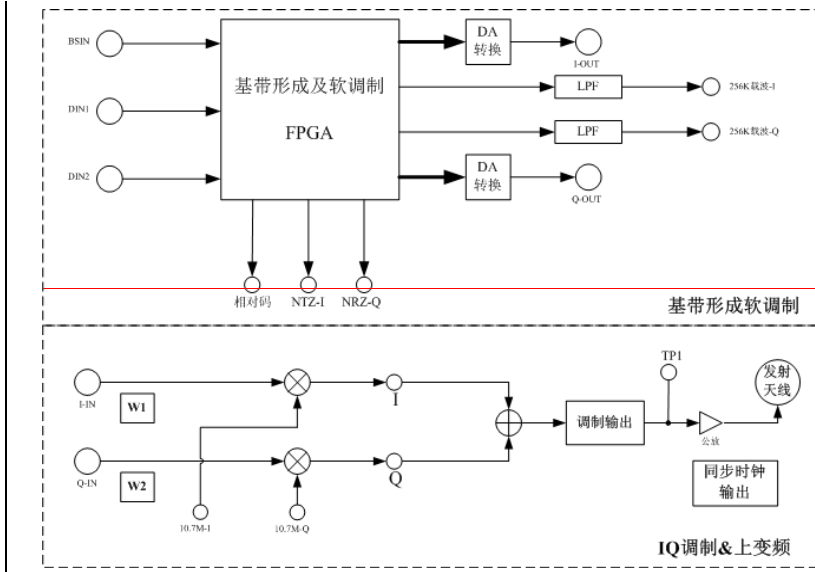
二、端口说明

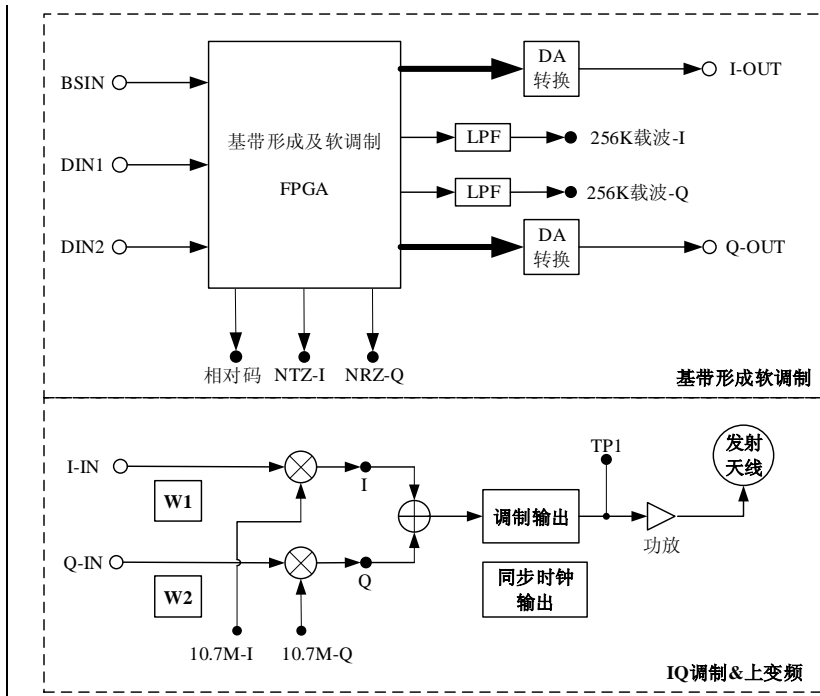
模块	端口名称	端口说明
译码输入	时钟	译码时钟输入
	数据	数据输入
译码输出	译码数据	译码数据输出
	时钟	译码时钟输出
	帧同步	帧同步信号输出
辅助观测	NRZD-IN	延时输入
	延时输出 2	延时输出信号观测点
	误码指示	误码指示观测点

不同的译码方式由主控进行设置。

4、10号模块 软件无线电调制模块

一、模块框图





二、模块简介

软件无线电是一个以现代通信理论为基础，以数字信号处理为核心，以微电子技术为支撑的新的无线通信体系结构。它包含了一些新的理论和技术，如多速率信号处理理论、数字变频技术等等。10号模块为调制部分，11号模块为解调部分。

三、模块功能说明

1、基带形成软调制

(1) 当数字调制需要较低频率载波时，可以将调整的整个过程全部在 FPGA 中完成，由 DA 输出的即是调制信号。

(2) 当数字调制的频率较高时，可以将速率要求较低的基带成形部分放在 FPGA 中完成，将频谱搬移的工作放在 IQ 变频模块上。

2、IQ 调制&上变频

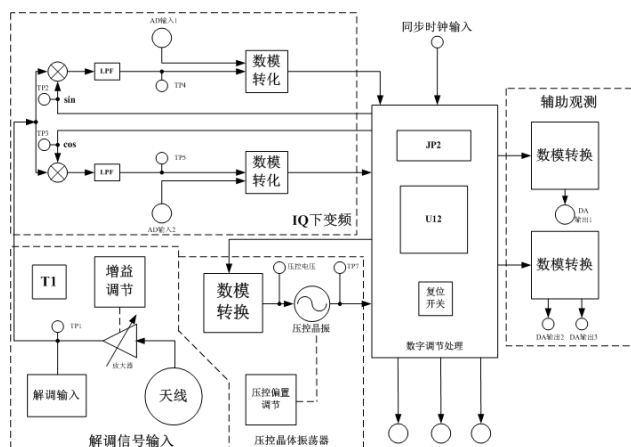
在较高速率调制时，将基带信号的频谱搬移到载波上。

四、端口说明

模块	端口名称	端口说明
基带形成软调制	BSIN	输入信号时钟
	DIN1	输入信号 1
	DIN2	输入信号 2
	相对码	差分编码输出
	NRZ-I	I 路 NRZ 码
	NRZ-Q	Q 路 NRZ 码
	I-OUT	I 模拟信号输出
	Q-OUT	Q 模拟信号输出
	256K 载波-I	0相位256KHz 载波信号
	256K 载波-Q	$\pi/2$ 相位256KHz 载波信号
IQ 调制&上变频	I-IN	I 模拟信号输入
	Q-IN	Q 模拟信号输入
	10.7M-I	0 相位 10.7MHz 载波信号
	10.7M-Q	$\pi/2$ 相位 10.7MHz 载波信号
	I	I 路上变频信号观测
	Q	Q 路上变频信号观测
	调制输出	调制信号输出点
	TP1	调制信号观测点
	发射天线	调制信号无线发射天线接口

5、11号模块 软件无线电解调模块

一、模块框图



二、模块功能说明

1、解调信号输入

如果从天线接收信号进行解调，则需要经过小信号放大部分。如果直接通过同轴电缆输入，则不需要小信号放大。

2、压控晶体振荡器

由 FPGA 产生压控电压控制 21.4MHz 的压控晶体振荡器，产生时钟。压控晶体振荡器的中心频率由“压控偏置调节旋钮”进行调节。

3、IQ 下变频

当载波频率较高时，AD 无法直接对调制信号进行采样。因此，需要用 IQ 下变频将调制信号的频率降下来，然后再进行采样。

当载波频率较低时，可以直接将调制信号通过“AD 输入 1”或“AD 输入 2”进行 AD 转换。所有的解调工作均在 FPGA 中完成。

4、软件解调

将解调后的模拟信号转换为数字信号，再通过软件转换为模拟信号输出。

三、端口说明

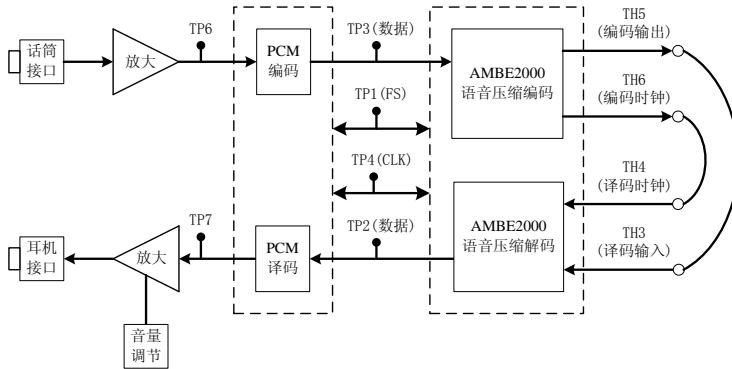
模块	端口名称	端口说明
解调信号输入	接收天线	解调信号无线接收天线接口
	解调输入	解调信号同轴电缆输入口
	TP-1	解调信号输入观测点
压控晶体振荡器	压控电压	压控电压检测
	TP-7	压控晶振输出时钟观测点
数字解调	TP-2	SIN 信号观测
	TP-3	COS 信号观测
	TP-4	解调信号与 SIN 信号相乘通过低通的观测点
	TP-5	解调信号与 COS 信号相乘通过低通的观测点
	AD 输入 1	AD 输入端口 1
	AD 输入 2	AD 输入端口 2
	同步时钟输入	用于相干解调的同步时钟输入
	DA 输出 1	中间信号观测点
	DA 输出 2	中间信号观测点
	DA 输出 3	中间信号观测点
	Dout	解调输出
	BS-Out	解调位时钟输出
	NC	待扩展端口

四、可调参数说明

- 1、W1: 压控偏置调节。
- 2、W2: 天线接收部分小信号放大增益调节。
- 3、S3: 复位开关。

6、12号模块 AMBE 语音压缩模块

一、模块框图



AMBE2000语音压缩编码及解码实验框图

二、模块简介

AMBE2000是一种高性能、低功耗的单片实时语音压缩解压芯片，可通过控制字改变压缩数据率，并具有前向纠错、语音激活检测和DTMF信号检测功能，运用广泛。

三、模块功能说明

从框图中可以看到，AMBE 语音压缩模块中，话筒接口的音频信号，经过放大电路处理，然后进行 PCM 编码，再经过 AMBE2000 语音压缩后，由 TH5 输出编码信号和 TH6 输出同步时钟。编码信号和编码时钟分别送入译码单元的数据和时钟输入端口，经过 AMBE2000 语音解压缩处理，再进行 PCM 译码，还原输出原始信号，由耳机接口输出。

四、端口说明

端口名称	端口说明
话筒接口 MIC1	话筒插座
TP6	话筒音信号输出测试点
TP1 (FS)	编译码帧信号测试点
TP4 (CLK)	编译码时钟信号测试点

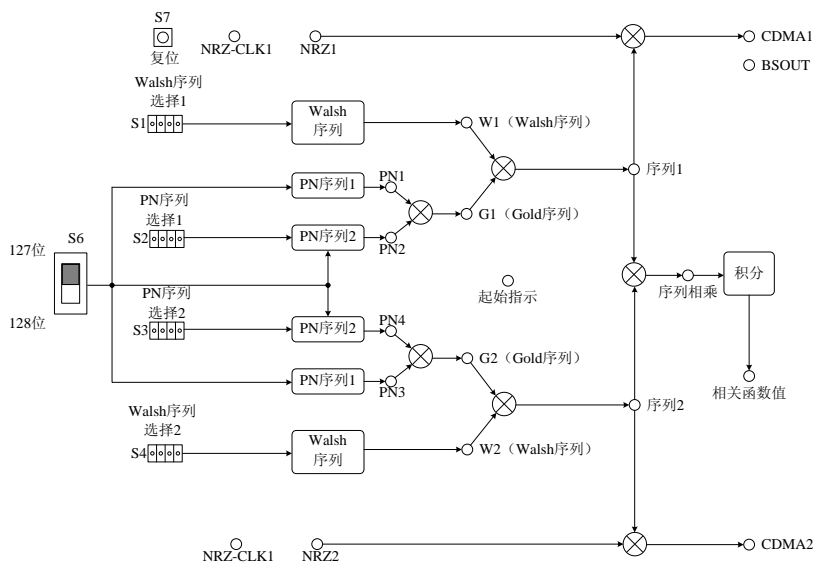
TP3 (数据)	PCM 编码输出测试点
EPR\STRB\DATA	AMBE 编译码中间过程测试点
TH6 (编码时钟)	AMBE 编码同步时钟输出
TH5 (编码输出)	AMBE 编码数据输出
TH4 (译码时钟)	AMBE 译码同步时钟输入
TH3 (译码输出)	AMBE 译码数据输入
TP2 (数据)	AMBE 译码输出测试点
TP7	译码还原的音频信号输出测试点
耳机接口 PHONE1	耳机插座

五、可调参数说明

- 1、电位器 W1 音量调节旋钮：可以调节音量输出大小。
- 2、复位键 S1：复位，启动功能键。

7、14号模块 CDMA 发送模块

一、模块框图



二、模块简介

CDMA 码分多址技术的原理是基于扩频调制技术，即将需传送的具有一定信号带宽的数据，用一个带宽远大于该信号带宽的高速伪随机码进行调制，使原数据信号的带宽被扩展，再经载波调制并发送出去。接收端由使用完全相同的伪随机码，与接收的带宽信号作相关处理，把带宽信号转换成原信息数据的窄带信号即解扩，以实现信息通信。本模块即模拟了 CDMA 的发送功能，输入信号最大支持 16Kbps，输出为 512Kbps，并帮助实验者熟悉并掌握各伪随机码之间的自相关和互相关特性。

三、模块功能说明

1、PN 序列&Walsh 序列的产生

由 ALTERA 的 FPGA 产生固定的 PN 序列和可调的 Walsh 序列。其中 PN 序列有 127 位和 128 位可选。Walsh 序列长度为 16 位。

2、不同 PN 序列&Walsh 序列的选取

通过设置不同的初始状态，可以得到不同偏移位置的 PN 序列。通过拨码开关更改 Walsh 序列。

3、Gold 序列的产生

由两路 PN 序列模 2 相加可得 Gold 序列并观测。

4、Walsh 序列与 Gold 序列的合成

可得到最终的复合扩频调制序列并观测。

5、扩频调制输出

通过产生最终复合扩频调制序列对输入 NRZ 信号进行扩频调制，输出最终 CDMA 信号。

6、相关函数的观测

两路不同的最终复合扩频调制序列进行相乘并积分，可得到两者相关函数值供实验观测。

四、端口说明

名称	说明
PN 序列长度设置	127 位/128 位切换开关。
S2,S3	更改 PN 序列 1 偏移量。
S1,S4	更改不同 Walsh 序列。
复位	设置完 PN 序列偏移后一定要此复位开关。
PN1,PN3	FPGA 产生的固定 PN 序列观测点。
PN2,PN4	通过 S2,S3 改变偏移后的 PN 序列观测点。
起始指示	用来指示 PN 序列的起始位置观测点。
G1,G2	通过 PN 序列模 2 相加所得的 Gold 序列观测点。
W1,W2	Walsh 序列观测点。
序列 1, 序列 2	Walsh 序列与 Gold 序列合成的复合扩频序列观测点。
NRZ1,NRZ2	待扩频的非归零码信号输入点。
NRZ-CLK1,NRZ-CLK2	待扩频的非归零码信号时钟输入点。
CDMA1, CDMA2	扩频调制后的 CDMA 信号输出点。

BSOUT	扩频调制后的 CDMA1 信号的位同步时钟信号输出点。
序列相乘	序列 1 与序列 2 相乘后的信号观测点。
相关函数值	序列 1 与序列 2 相乘后经过积分得到的相关性函数观测点。
S5	模块总开关

五、可调参数说明

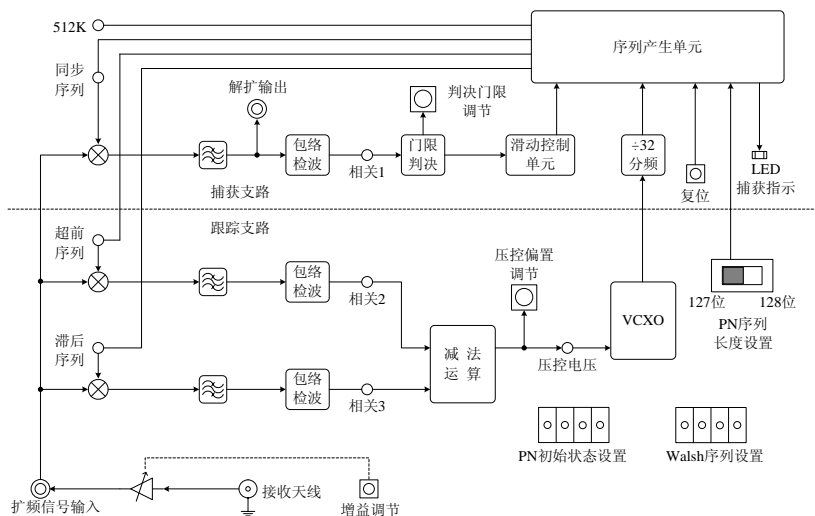
1、PN 序列长度设置：通过在连 6 个 0 后增加一个 0 可得到 128 位 PN 序列，以方便与 16 位的 Walsh 码合成。

2、S2, S3：通过 4 位二进制拨码开关可调节 PN 序列 1 的初始偏移位置得到不同的 PN 序列 2，继而得到不同的 Gold 序列（G1 和 G2）。

3、S1, S4：通过 4 位二进制拨码开关可改变不同 Walsh 码输出。

8、15号模块 CDMA 接收模块

一、模块框图



二、模块简介

CDMA 接收模块用于扩频通信系统的接收端。处于接收部分的最前端，其解扩的信号会送到解调模块进行解调。

CDMA 接收模块主要是解决两个问题。第一是序列的同步问题，由于扩频序列的自相关性，当序列在非同步情况下是无法获取有用信息的。第二是时钟同步问题，由于接收端产生解扩序列的时钟与发送端是非同步的。因此，当序列同步，如果时钟不同步，序列会逐渐产生偏差，最终失步。只有序列和时钟都达到同步，才能完成解扩。

三、模块功能说明

1、捕获支路

用来捕获扩频序列，达到序列同步的状态。

2、跟踪支路

用来进行时钟同步。

3、序列产生单元

产生解扩序列，序列产生可受滑动控制单元控制，是序列的相位滑动。

4、滑动控制单元

产生序列的滑动控制脉冲信号。该脉冲信号由前面的门限判决信号控制，当门限判决输出为高时，说明序列已经捕获，滑动控制单元停止产生滑动控制脉冲信号；当门限判决输出为低时，说明序列未捕获，滑动控制单元产生滑动控制脉冲信号。

四、端口说明

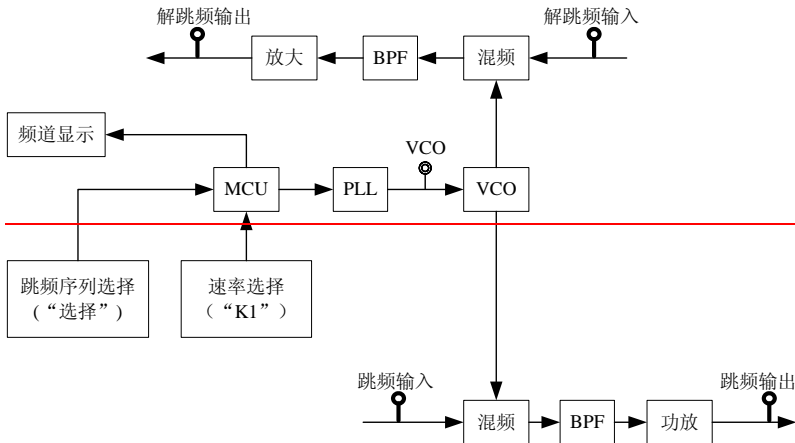
模块	端口名称	端口说明
捕获支路	同步序列	输出解扩序列
	解扩输出	输出解扩信号，是 BSPK 的数字调制信号
	相关 1	同步序列与扩频信号相关计算输出
	512K	解扩序列的时钟信号
跟踪支路	接收天线	解扩天线接收端口
	扩频信号输入	解扩同轴电缆输入端口
	超前序列	与同步序列相比相位超前 1/2 码元
	滞后序列	与同步序列相比相位滞后 1/2 码元
	相关 2	超前序列与扩频信号相关计算输出
	相关 3	滞后序列与扩频信号相关计算输出
	压控电压	控制压控晶振频率变化的信号

五、可调参数说明

- 1、增益调节：调节天线接收小信号放大的增益。
- 2、判决门限调节：调节相关峰的判决门限（由于接收信号幅度不同，相关峰的幅值也有所不同）。
- 3、压控偏置调节：调节压控晶振的中心频率。
- 4、PN 序列长度设置：设置 PN 序列长度为 127 或 128 位。
- 5、PN 初始状态设置：设置 PN 序列初始状态。

10、16号模块 跳频模块（选）

一、模块框图



二、模块简介

跳频是最常用的扩频方式之一，其工作原理是指收发双方传输信号的载波频率按照预定规律进行离散变化的通信方式。

三、端口说明

端口名称	端口功能
跳频输入 J2 及 TP1	已调信号输入端及其测试点。
跳频输出 J5 及 TP2	跳频处理输出端及其测试点。
解跳频输入 J3 及 TP3	待解跳频信号输入端及其测试点。
解跳频输出 J4 及 TP4	解跳处理输出端及其测试点。

带格式的：居中，首行缩进：0 字符

带格式的：居中

带格式的：居中，首行缩进：0 字符

带格式的：居中

带格式的：居中

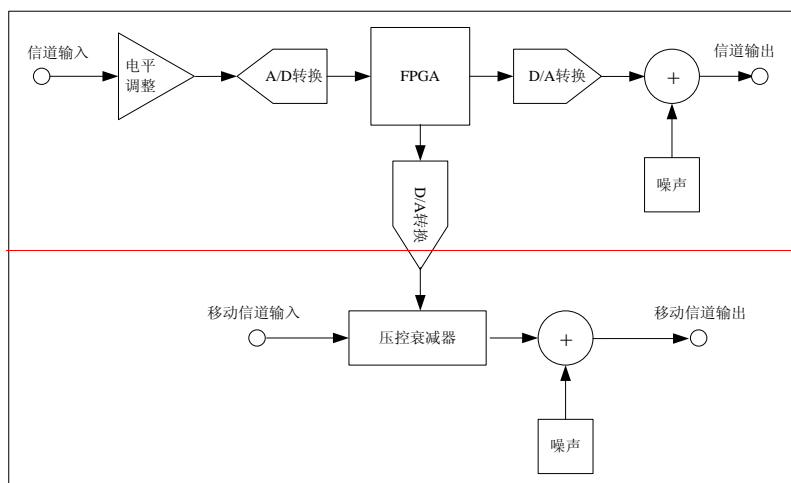
带格式的：居中

带格式的：居中

载波 TP9	跳频频率测试点。	带格式的：居中
VCO(TP10)	跳频频点控制电平测试点。	带格式的：居中
选择键 S2	用于切换跳频点的频道顺序。	带格式的：居中
发光二极管 SE1\SE2\SE3	表示选择键 S2 对应设置的频道顺序。	带格式的：居中
信道号 M1 数码管	用于显示跳频点的频道显示。	带格式的：居中
开关 K1	用于切换跳频点的切换速度，包括 10 跳/S 和 1 跳/S 两种。	带格式的：居中
复位键 S1	功能复位和重置。	带格式的：居中
同步输入、同步输出	预留功能	带格式的：居中

11、17号模块 信道模拟模块（选）

二、模块框图

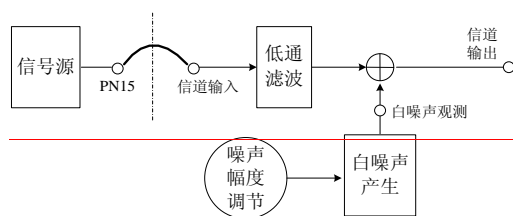


三、模块简介

信道模拟是估计系统性能的一种具体方法。模块主要模拟实际传输中可能产生的噪声因素，如低通或带通模拟信道、白噪声信道、快衰落信道和慢衰落信道，通过观测眼图的张开和闭合和传输数据的码元，观测处码间干扰和噪声的影响。

三、模块功能说明

1、低通信道模拟

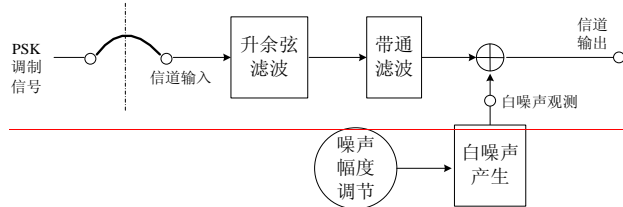


未加升余弦滤波的低通信道模拟

未加升余弦滤波的低通信道模拟原理框图

系统提供有多种低通信道模拟功能，可通过主控模块设置为 6KHz 低通信道、5.5KHz 低通信道、5KHz 低通信道、4.5KHz 低通信道、成形滤波+6KHz 低通信道、成形滤波+5.5KHz 低通信道、成形滤波+5KHz 低通信道和成形滤波+4.5KHz 低通信道。如图所示，实验中观察 PN 序列经低通传输的眼图效果，可以手动调节低通信道中白噪声幅度大小。

2、带通信道模拟



加升余弦滤波的带通信道模拟

加升余弦滤波的带通信道模拟原理框图

系统提供有多种带通信道模拟功能，可通过主控模块设置为 250KHz~262KHz 带通信道、251KHz~261KHz 带通信道、251.5KHz~260.5KHz 带通信道、252KHz~260KHz 带通信道。如图所示，实验中观察以载频为 256KHz 调制信号经过带通信道的传输效果，可以手动调节带通信道中白噪声幅度大小。

3、白噪声信道模拟

将 10.7MHz 的调制信号作为输入信号，经白噪声信道进行传输。

4、快衰落信道模拟

将 10.7MHz 的调制信号作为输入信号，经快衰落信道进行传输。

5、慢衰落信道模拟

将 10.7MHz 的调制信号作为输入信号，经慢衰落信道进行传输。

四、端口说明

模块	端口名称	端口说明
低通或带通信道	信道输入 TH1	低通或带通信道的输入端口。
	信道输出 TH2	低通或带通信道的输出端口。
	白噪声观测 TP4	低通和带通信道中白噪声测试点。
	噪声幅度调节 W1	低通和带通信道中白噪声的幅度调节旋钮。
移动信道	移动信道输入 P1、TP2	移动信道的信号输入接口。
	移动信道输出 P2、TP1	移动信道的信号输出接口。
	辅助观测点 TP3	快衰落或慢衰落变化的辅助观测点。
	TH3、TH4、TH5、TH6、TH7、TH8	其他预留端口，可用于二次开发扩展。

五、可调参数说明

- 1、电位器 W1 噪声幅度调节旋钮，可以调节低通或噪声信道中白噪声的幅度调节旋钮。

~~12、18号模块 工业手机模块（选）~~

~~18号模块工业手机模块的功能及使用说明，可参考移动通信部分中移动网络实验的相关内容。这里暂不作具体阐述。~~

II、实验基本操作说明

本说明适用于创新实训平台，阐述了实验前期模块准备、参数设置、波形观测等一系列基本操作，为实验者提供了一定的操作参考方法。

1、实验前先检查所需模块是否固定好，供电是否良好。在未连线的情况下打开实验箱总电源开关及各模块电源开关，模块左边电源指示灯应全亮；若不亮，请关电后拧紧模块四角的螺丝再检查。

2、准备工作做完后，请在断电情况下根据实验指导书步骤进行连线。

3、打开电源开关后需要先进行菜单设置再进行实验。开电后，首先弹出的是公司 LOGO 界面，然后自动进入到主菜单界面，旋转控制旋钮选择所需实验课程，按下旋钮进入实验课程，再在实验课程中选择所需实验。选择所需实验时会弹出响应的实验信息提示，按下确定键，提示框即消失，进入所选实验界面。

4、实验观测前，需要调节信号源输出信号相关参数。用示波器探头夹夹住导线的金属头，将导线另一头连接待测信号源输出端口，再调节相应旋钮和按键开关。

5、观测实验波形时，有三种基本测试方法。

(1) 对于测试勾，可直接用示波器探头夹夹住测试后并确定夹紧即可；

(2) 或将示波器探头夹取下来，直接用探头夹接触测试点，观察波形时需要注意固定好示波器探头；

(3) 对于台阶插座，可用导线连接台阶座与示波器探头夹子，连接方法与实验基础操作说明第四点中的叙述相同。

6、本实验指导书中实验步骤基本分为四点：

(1) 连线；

(2) 实验初始状态设置，此设置中包含菜单设置，实验前模块拨码开关设置以及信号源输出设置等；

(3) 实验初始状态说明，统一说明了实验中各信号源初始状态及实验环境；

(4) 观测，针对各实验项目要求，用示波器等辅助仪器观测并记录实验结果。

III、示波器常用信号观察

一、稳定观测 PN 序列

- 1、用示波器的探头 1 接时钟信号 CLK，示波器的探头 2 接 PN 序列；
- 2、按下示波器的“触发菜单”（Trigger--Menu）按钮，此时将出现触发菜单界面，找到“信源”选项，按下对应的侧面菜单按钮，将显示信源的可滚动列表，旋转“通用”旋钮加亮显示“Ch1”，按下“通用”旋钮选择触发信源为“Ch1”；
- 3、按下“触发位置”旋钮（Trigger--Level），将触发电平设置为触发信号峰值的垂直中点（设置为 50%）；
- 4、选择触发释译,旋转“触发位置”旋钮，增大释译时间，直到 PN 序列能够在示波器显示屏上稳定显示。

二、星座图观测

- 1、用示波器探头 1 接 I 路成型信号，探头 2 接 Q 路成型信号
- 2、按下“1”（通道 1 菜单）按钮，选择“探头”→“电压”→“衰减”→“10X”并按下相应的按钮
- 3、按下“2”（通道 1 菜单）按钮，选择“探头”→“电压”→“衰减”→“10X”并按下相应的按钮
- 4、将两个探头的衰减开关均拨至“10X”
- 5、旋转“垂直刻度”（vertical--scale）旋钮，使每个通道上显示的幅值大致相同
- 6、按下“辅助功能”（Utility）→“显示”按钮查看显示菜单
- 7、按下“格式”→“XY”，此时示波器上就会显示出我们要观测的星座图

三、眼图观测

- 1、用示波器探头 1 接时钟信号，探头 2 接眼图观测点信号
- 2、按下“辅助功能”（Utility）→“显示”按钮查看显示菜单
- 3、按下“持续”→“无限”此时示波器的 2 通道将会显示所要观测的眼图信号

IV、实验内容

实验一 GSM 通信系统实验

一、实验目的

- 1、了解 GSM 通信系统架构及特性。

二、实验器材

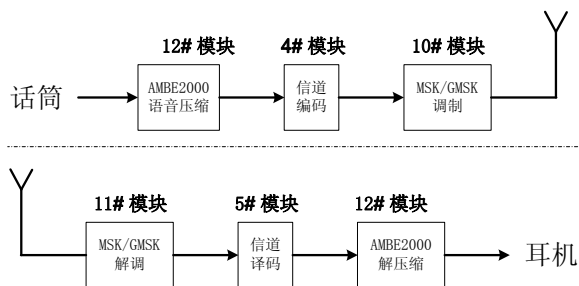
- | | |
|---------------------------------|-----|
| 1、 主控&信号源模块、4号、5号、10号、11号、12号模块 | 各一块 |
| 2、 双踪示波器 | 一台 |
| 3、 连接线 | 若干 |

三、实验内容

- 1、搭建 GSM 系统，了解 GSM 的系统架构；
- 2、观察 GSM 系统各部分信号，了解相关原理知识点。

三、实验原理

- 1、实验原理框图



GSM通信系统实验原理框图

- 2、实验框图说明

GSM通信系统框图中，发送部分是话筒输出的语音信号经过12号模块的AMBE2000压缩编码转换为数字信号，再经过4号模块进行信道编码，然后通过10号模块的MSK/GMSK调制电路，从天线发送出去。接收部分是天线接收的信号经过11号模块的MSK/GMSK解调电路，

还原出数字信号，然后经过5号模块进行信道译码，再通过12号模块的AMBE2000解压缩功能，将数字信号还原为原始的语音送至耳机输出。为方便系统联调及观测，建议实验前先了解信源编译码和调制解调等实验的相关内容，联调时可先搭建数字信号的有线传输系统进行调节，待系统调通后再通过天线进行模拟信号的无线收发实验。

注意：当选择好实验菜单【GSM扩频通信系统实验】后，可以了解一下各模块输出端的速率值和模块输入端的速率要求。以本实验框图为例，此时系统初始状态为：3Hz~3.4KHz的音频信号，经12号AMBE语音压缩处理输出8KHz数字信号，经4号模块卷积编码处理输出16KHz的信号，上10.7MHz载频调制发射。

3、基本原理

由于 GSM 是一个全数字系统，话音和不同速率数据的传输都要进行数字化处理。为了将源数据转换为最终信号并通过无线电波发射出去，需要经过几个连续的过程。相反，在接收端需要经过一系列的反过来重现原始数据。下面我们主要针对数据的传输过程进行描述。

信源端的主要工作有

1、信道编码

信道编码用于改善传输质量，克服各种干扰因素对信号产生的不良影响，但它是以增加比特降低信息量为代价的。

信道编码的基本原理是在原始数据上附加一些冗余比特信息，增加的这些比特是通过某种约定从冗余数据中经计算产生的，接收端的解码过程利用这些冗余的比特来检测误码并尽可能的纠正误码。如果收到的数据经过同样的计算所得的冗余比特同收到的不一样时，我们就可以确定传输有误。根据传输模式不同，在无线传输中使用了不同的码型。

GSM 使用的编码方式主要有块卷积码、纠错循环码、奇偶码。块卷积码主要用于纠错，当解调器采用最大似然估计方法时，可以产生十分有效的纠错结果，纠错循环码主要用于检测和纠正成组出现的误码，通常和块卷积码混合使用，用于捕捉和纠正遗漏的组误差。奇偶码是一种普遍使用的最简单的检测误码的方法。

2、交织

在移动通信中这种变参的信道上，比特差错通常是成串发生的。这是由于持续较长的深

衰落谷点会影响到相继一串的比特。但是，信道编码仅在检测和校正单个差错和不太长差错串时才有效，为了解决这一问题，希望找到把一条消息中的相继比特分开的方法，即一条消息的相继比特以非相继的方式被发送，使突发差错信道变为离散信道。这样，即使出现差错，也仅是单个或者很短的比特出现错误，也不会导致整个突发脉冲甚至消息块都无法被解码，这时可再用信道编码的纠错功能来纠正差错，恢复原来的消息，这种方法就是交织技术。

3、调制

调制和解调是信号处理的最后一步。简单的说 GSM 所使用的调制是 $BT=0.3$ 的 GMSK 技术，其调制速率是 270.833kbit/s，使用的是 Viterbi 算法进行的解调。调制功能就是按照一定的规则把某种特性强加到电磁波上，这个特性就是我们要发射的数据。GSM 系统中承载信息的是电磁场的相位，即采用调相方式。从发送角度看，首先要完成二进制数据到一个低频调制信号的变换，然后在进一步把它变到电磁波的形式。

接收端则是经过解调，解交织，信道译码等一系列的反过程来重现原始数据。

五、实验步骤

概述：该项目主要是通过自行搭建 GSM 通信系统，认识和掌握 GSM 通信系统的框架以及相关原理知识点。

1、关电，按表格所示，完成 GSM 通信系统发送端的连线。

在发送端的 12 号模块的话筒接口接入话筒。

源端口	目的端口	连线说明
模块 12: TH5(编码输出)	模块 4: TH1(编码输入-数据)	将压缩信号送入信道编码
模块 12: TH6(编码时钟)	模块 4: TH2(编码输入-时钟)	提供信道编码时钟
模块 4: TH4(编码输出-编码数据)	模块 10: TH3(DIN1)	送入调制单元
模块 4: TH5(编码输出-时钟)	模块 10: TH1(BSIN)	送入调制端用于差分编码
模块 10: TH7(I-OUT)	模块 10: TH6(I-IN)	I 路成形信号送入调制
模块 10: TH9(Q-OUT)	模块 10: TH8(Q-IN)	Q 路成形信号送入调制

此时调制信号输出口为：10 号模块的 P1(调制输出)，以及经过功放后的 P2（发射天线）。

2、继续按下面表格所示，完成 GSM 通信系统的接收端连线。

在接收端的 12 号模块的耳机接口接入耳机。

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: P1(调制输出)	模块 11: P1(解调输入)	将调制信号送入解调单元
模块 11: TH4(Dout)	模块 5: TH1(译码输入-数据)	解调信号送入信道译码
模块 11: TH5(BS-out)	模块 5: TH2(译码输入-时钟)	提供信道译码时钟信号
模块 5: TH3(译码输出-译码数据)	模块 12: TH3(译码输入)	送入 AMBE 解压缩单元
模块 5: TH4(译码输出-时钟)	模块 12: TH4(译码时钟)	提供译码时钟

3、开电，设置系统菜单，选择实验项目【GSM 通信系统实验】。先按 12 号模块的复位键 S1，再进行系统联调，适当调节 11 号模块压控偏置电位器 W1，同时按复位开关键 S3，感受 GSM 系统的通话效果。

4、上述步骤中搭建的是 GSM 有线通信系统。若想搭建 GSM 无线通信系统，只需在连线上做如下调整。

(1) 除去以下连线：

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: P1(调制输出)	模块 11: P1(解调输入)	将调制信号送入解调单元

(2) 分别将 10 号模块的 P2(发射天线)和 11 号模块的 P2(接收天线)连接拉杆天线。适当调节 11 号模块天线接收端的增益调节旋钮 W2，再适当调节压控偏置电位器 W1，按复位 S3，进行系统联调。

注：系统联调时，建议先以有线通信系统进行联调，再转为无线收发。

六、实验报告

- 1、分析实验电路的工作原理，简述其工作过程。
- 2、感受语音传输效果，观测并分析实验过程中的实验现象。

实验二 CDMA 扩频通信系统实验

一、实验目的

- 1、了解 CDMA 通信系统架构及特性。

二、实验器材

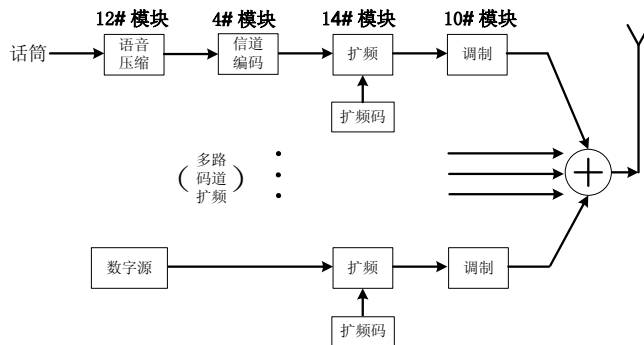
- | | |
|----------------------------------|-----|
| 1、 主控&信号源、4、5、10、11、12、14、15 号模块 | 各一块 |
| 2、 双踪示波器 | 一台 |
| 3、 连接线 | 若干 |

三、实验内容

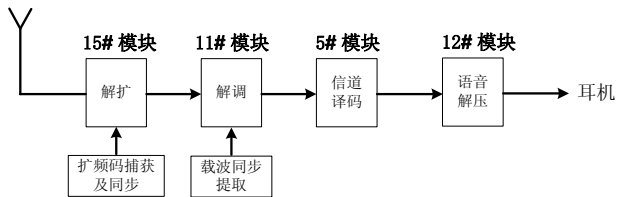
- 1、自行搭建 CDMA 扩频通信系统，认识和掌握 CDMA 通信系统的框架
- 2、观察 CDMA 系统的中间观测点波形，了解相关原理知识点。

四、实验原理

- 1、实验原理框图



CDMA发射系统框图



CDMA接收系统框图

注：CDMA扩频通信系统中，接收端根据不同扩频序列，来捕获跟踪不同码道上的信息。

2、实验框图说明

我们扩频通信的实现机理为：CDMA扩频通信发送端是将语音信号先通过12号模块转换成数字信号，然后经过4号模块信道编码处理，再将编码输出与高速率扩频码（比如Gold序列或m序列）相乘，经过调制电路将扩频后的信号搬移到一个适当的频段进行传输，然后功放电路无线发射出去；CDMA扩频通信接收端是将天线接收的信号先经过小信号放大处理，再通过捕获、跟踪扩频码来进行同步解扩，并提取解调所需同步载波，最后经过解调以及码元再生电路，还原输出原始信源的数字码型，再经过5号模块信道译码处理，最后通过12号模块的语音译码功能还原出原始的语音信号。整个实现过程与真实的实际通信系统基本保持一致。

对于数字信源的传输，则在CDMA接收系统框图中略去发送端前端的信源编码功能和接收端后端的信源译码功能即可。

这里，我们以传输模拟信号和数字信号两路信号为例，搭建CDMA扩频通信系统。为方便系统联调和观测，建议实验前先了解语音压缩、调制解调、扩频及解扩等实验的相关内容，联调时可先搭建数字信号的有线传输系统进行调节，待系统调通后再通过天线进行模拟信号的无线收发实验。

注意：当选择好实验菜单【CDMA扩频通信系统实验】后，可以了解一下各模块输出端的速率值和模块输入端的速率要求。以本实验框图为例，此时系统初始状态为：3Hz-3.4KHz的音频信号，经12号AMBE语音压缩处理输出8KHz数字信号，经4号模块卷积编码处理输出16KHz的信号，经扩频处理后，上10.7MHz载频调制发射。对于16K的PN序列信号，在实验框图中是没有经过信道编码功能（因为4号模块为卷积编码功能时要求速率必须为8KHz），而是直接连至扩频和调制单元进行传输的。

对实验平台已经有充分认识和了解的同学，可以将PN序列替代AMBE压缩编码输出信号，经过信道编码处理，再送入扩频调制处理进行传输；那么在选择好实验菜单【CDMA扩频通信系统实验】，需要手动调节PN速率为8KHz，再进行相关系统连线和联调工作。

3、基本原理

扩频通信的理论基础是香农于 1948 年发表的《A Mathematical Theory of Communication》一文，即著名的信息论。香农信息论中有关信道的理论容量公式为：

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (0-1)$$

式 (20-1) 也被称为香农定理，其中 C 为信道容量，单位为 bps； W 为信道带宽（也称为系统带宽）； S/N 为信噪比（dB）。式 (20-1) 给出了在给定信噪比 S/N 和没有误码的情况下信道的理论容量 C 与该信道带宽 W 的关系。从这个公式还可以得出也重要的结论：对于给定的信息传输速率，可以用不同的带宽和信噪比的组合来传输。换言之，信噪比和信道带宽可以互换。扩频通信系统正是利用这一理论，将信道带宽扩展许多倍以换取信噪比上的好处，增强了系统的抗干扰能力。

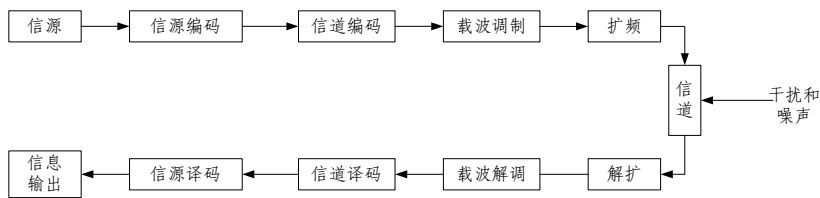


图 20-1 典型的扩频通信系统模型

一个典型的扩频通信系统框图如图 20-1 所示。由图 20-1 可以看出，扩频通信系统主要由原始信息、信源编译码、信道编译码（差错控制）、载波调制与解调、扩频调制与解扩和信道六大部分组成。信源编码的目的是减小信息的冗余度，提高信道的传输效率。信道编码（差错控制）的目的是增加信息在信道传输轴格的冗余度，使其具有检错或纠错能力，提高信道传输质量。调制部分的目的是使经过信道编码后的符号能在适当的频段传输，通常使用的数字信号调制方式为振幅键控、移频键控、移相键控，在码分多址移动通信中使用 QPSK 和 OQPSK 都是 PSK 的改进型。扩频通信和解扩是为了提高系统的抗干扰能力而进行的信号频谱展宽和还原。可见，与传统通信系统相比较，该系统模型中多了扩频和解扩两个部分，经过解扩，在信道中传输的是一个宽带的低谱密度的信号。

扩频通信系统按扩频方式的不同，分为以下四种类型：

- ◆ 直接序列扩频 (Direct Sequence Spread Spectrum, DS-SS)
- ◆ 跳频扩频 (Frequency Hopping Spread Spectrum, FH-SS)
- ◆ 跳时扩频 (Time Hopping Spread Spectrum, TH-SS)

直接序列扩频系统采用高码速率的直接序列 (Direct Sequence, DS), 伪随机码在发端进行扩频, 在收端用相同的码序列去进行解扩, 然后将展宽的扩频信号还原成原始信息。所谓跳频是指发送信号的载波按照某一随机跳变图样在跳变, 跳频信号具有时变、伪随机的载频。

跳频扩频系统在很多方面类似于将带宽为多个用户划分为多个信道的 FDMA 系统。在某个时间点上, 某一用户的跳频信号只占用单个频率信道。跳频扩频系统和 FDMA 系统的区别在于: 跳频信号在很短的周期间隔内改变载频。跳频系统又分为快跳频和慢跳频两种。如果信号跳频的速率等于或接近于符号速率, 则该系统称为快跳频系统; 如果信号跳频的速率低于符号速率, 则称为慢跳频系统。跳时是使发射信号在时间轴上跳变。先把时间轴分成许多时片, 在一帧内的哪个时片发射信号由扩频码序列进行控制。由于用了很窄的时片去发送信号, 所以信号的频谱被展宽了, 达到了扩频的效果。

在实际的码分多址系统中, 直接序列扩频方式得到了广泛的认可和应用, 直接序列扩频系统的发射机和接收机框图如图 20-2 所示。

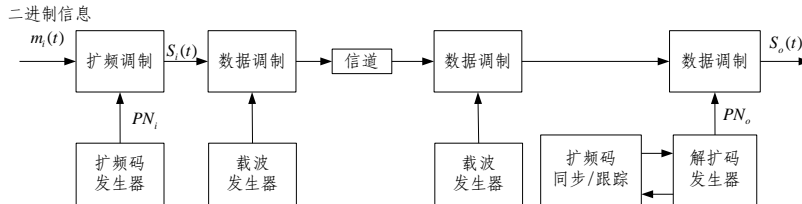


图 20-2 直接序列扩频的发送机和接收机框图

如图 20-3 所示, 在发送端输入的二进制信息码元 $m(t)$, 其码元宽度为 T_b , 扩频码发生器产生的扩频码记作 PN_i , 码元宽度为 T_c , 其中 $T_c \leq T_b$, 它们的波形分别如图中所示, $m(t)$ 经扩频码扩频后, 得到的已扩频信号 $S_i(t) = m(t) \times PN_i$, 由于 $T_c \leq T_b$, 所以已扩频信号的频谱得到展宽。之所以用乘号, 是因为波形采用了 ± 1 的表示方法。另外, 出于简化, 此处暂时不考虑载波调制的影响, 在接收端采用同步的扩频码序列对已扩频的信号进行解扩: $S_o(t) = S_i(t) \times PN_o$, 解扩后的信号如图 20-3 所示, 可以看到, 采用同步的扩频码序列可以恢

复原来的二进制序列。如果接收端的扩频码序列没有和发送端的同步，则不能正确恢复原来的二进制序列，图中也用相关的波形对这一情况做了演示。

直接序列扩频系统具有很强的抗干扰能力，所以最初在军事通信中得到了应用。下面仅定性地介绍直接序列扩频系统抗干扰的原理。如果已扩频的信号在信道中传输时受到的干扰为宽带信号，则解扩前后的功率谱如图 20-4 所示，如果受到的干扰为窄带信号，则解扩前后的功率谱如图 20-5 所示。如图 20-4 和图 20-5 可知，直接序列扩频系统有抵抗窄带干扰和宽带干扰的能力。

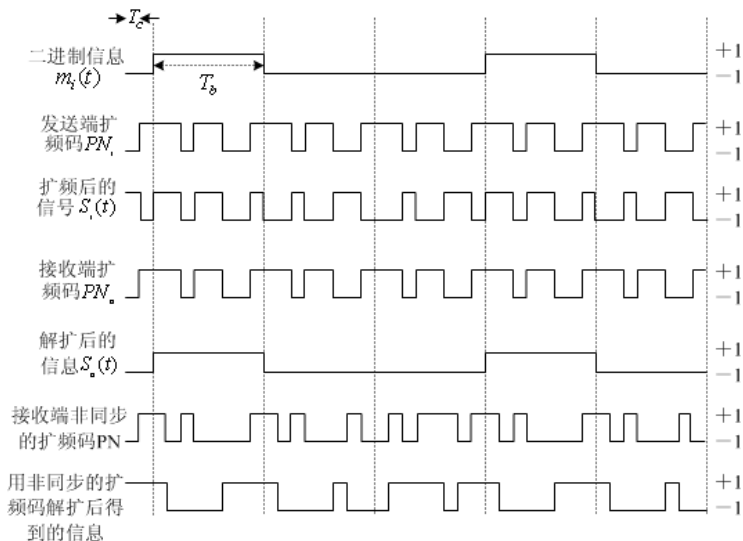


图 20-3 直接序列扩频各点波形

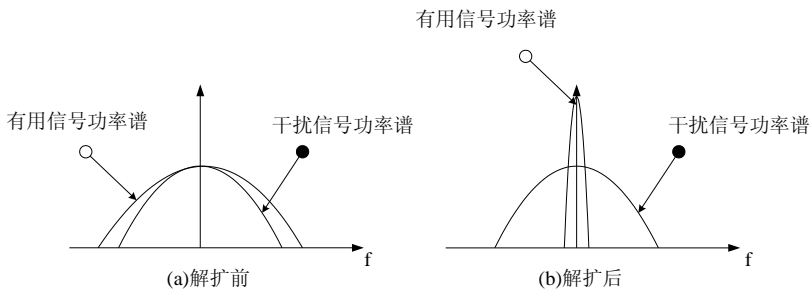


图 20-4 直接序列扩频系统抗宽带干扰示意图

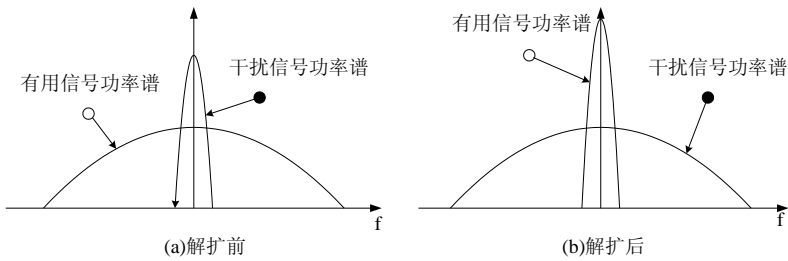


图 20-5 直接序列扩频系统抗窄带干扰示意图

扩频通信有两个重要参数：处理增益和干扰容限。

1、扩频增益

通常在衡量扩频系统抗干扰能力的优劣时，引入“处理增益”这个概念，一般也称为扩频增益，定义为接收机相关器输出信噪比和接收机相关器的输入信噪比之比，即：

$$G = \frac{S_o / N_o}{S_i / N_i} \quad (0-2)$$

式中， S_i 和 S_o 分别为接收机相关器的输入、输出端信号功率， N_i 和 N_o 分别为相关器的输入、输出端干扰功率。在各种干扰情况下系统的扩频增益不同，这里仅对高斯白噪声干扰情况下的扩频增益做简要的推导，并且以直接序列扩频系统下的情况为例来说明。

假定系统中有 K 个通信用户，分别用不同的 PN 码来调制信息数据。假理想功率控制（功率控制的内容在后续章节中详细讲述，这里只需要明白各个用户到达接收端的功率相同）

的情况，设 P 是接收的每一个用户的信号功率，系统的扩频带宽为 W ，噪声的功率谱密度用 N_o 表示，则接收端接收到的有用信号功率谱为 P/W ，接收到的其它用户的干扰功率谱为 $(K-1)P/W$ ，那么该通信用户的输入信噪比等于：

$$S_i/N_i = \frac{P/W}{(K-1)P/W + N_o} = \frac{P}{(K-1)P + N_o W} \quad (0-3)$$

经接收机扩频解调后，该通信用户的信号被全部接收但信号带宽已变换到基带内（变为窄带信号），设基带信号的信息速率为 R_b ，此时有用信号的功率谱为 P/R_b ，其他用户或干扰噪声信号与用户信号的地址码不相关，不能得到解调，因为它们的功率谱密度保持不变。则输出信噪比为：

$$S_o/N_o = \frac{P/R_b}{(k-1)P/W + N_o} = \frac{P}{(k-1)P + N_o W} \frac{W}{R_b} \quad (0-4)$$

由式 (20-3) 和式 (20-4) 容易得到扩频解调前后的扩频增益，即输出信噪比与输入信噪比为：

$$S_o/N_o = \frac{P/R_b}{(k-1)P/W + N_o} = \frac{P}{(k-1)P + N_o W} \frac{W}{R_b} \quad (0-5)$$

对于直接序列扩频系统来说， W 为伪随机码的信息速率。式 (20-5) 给出了扩频通信中扩频解调处理对信噪比的改善情况，它决定了系统抗干扰能力的强弱，是扩频系统的一个重要性能指标。

2、干扰容限

为了描述扩频系统在干扰环境下的工作性能，引入干扰容限的概念干扰容限定义为：

$$M_j = G - [L_s + (S_o/N_o)] \quad (0-6)$$

其中 S_o/N_o 为输出信噪比， L_s 为系统损耗 G 为扩频增益。干扰容限可以解释为：当干扰功率超过信号功率 M_j (dB) 时，系统就不能正常工作。例如，一个扩频系统的处理增益为 21 dB，要求最小的输出信噪比为 7 dB，系统损耗为 3 dB，则其干扰容限为：

$$M_j = G - [L_s + (S_o/N_o)] = 21 - [3 + 7] = 11 \text{ dB}$$

即具有 21 dB 处理增益的扩频系统，在保证基带数字解调器输出信噪比为 10 dB 和系统损耗为 3 dB 的条件下，系统要正常工作时输入的信噪比不能小于 11 dB。

扩频通信技术的主要特点概括如下：

1) 干扰能力强

抗干扰能力强是扩频通信最基本的特点。扩频系统的扩展频道越宽，获得的处理增益越高，干扰容限就越大，抗干扰能力就越强。接收端采用与发送端同步的扩频码解扩后，有用信号得到恢复，其他干扰信号的频谱都被展宽了，从而使得落入信息带宽内的干扰强度大大降低，从而抑制了干扰。

2) 保密性好

保密性好是扩频通信最初在军事通信中获得应用的主要原因。由于扩频系统使用周期很长的伪随机码进行扩频，经调制后的数字信息类似于随机噪声，在接收端进行解扩时，只有采用与发送端同步的扩频码才能正确恢复发送的信息。而且在不知伪随机码时破译是很困难的，所以使信息得到了保密。此外，由于扩频信号的频谱被扩展到很宽的频带内，其功率谱密度也随之降低（可明显低于环境噪声和干扰电平），难以检测，所以信号具有隐蔽性。

3) 具有抗衰落、抗多径干扰能力

由于扩频通信系统的信号频谱被展宽，所以扩频系统具有潜在的抗频率选择性衰落的能力，此外，扩频通信系统还能有效地克服多径干扰。

4) 具有多址能力，易于实现码分多址

扩频通信系统中采用伪随机序列扩频，在实际的通信系统中可以利用不同的伪随机序列作为不同用户的地址码，从而实现码分多址通信。

五、实验步骤

概述：该项目主要是通过自行搭建 CDMA 扩频通信系统，认识和掌握 CDMA 通信系统的框架以及相关原理知识点。

1、关电，按表格所示，完成 CDMA 通信系统发送端的连线。

先将话筒接入到 12 号模块的话筒接口，作为模拟源。

源端口	目的端口	连线说明
模块 12: TH6(编码时钟)	模块 4: TH2(编码输入-时钟)	将信号送入信道编码单元

模块 12: TH5(编码输出)	模块 4: TH1(编码输入-数据)	提供信道编码时钟
模块 4: TH5(编码输出-时钟)	模块 14: TH1(NRZ-CLK1)	提供第一路时钟
模块 4: TH4(编码输出-编码数据)	模块 14: TH3(NRZ1)	提供第一路数据
信号源: CLK	模块 14: TH6(NRZ-CLK2)	提供第二路时钟
信号源: PN	模块 14: TH2(NRZ2)	提供第二路数字数据
模块 14: TH4(CDMA1)	模块 10: TH3(DIN1)	第一路进行成形滤波
模块 14: TH5(CDMA2)	模块 10: TH2(DIN2)	第二路进行成形滤波
模块 10: TH7(I-OUT)	模块 10: TH6(I-IN)	第一路成形信号送入调制
模块 10: TH9(Q-OUT)	模块 10: TH8(Q-IN)	第二路成形信号送入调制

将 14 号模块上两路信号设置不同的扩频码序列：拨码开关 S2 为 0001，拨码开关 S3 为 0010，拨码开关 S1 和 S4 全置为 0，序列长度设置开关设置为 127 位。此时第一路扩频信号 CDMA1 则对应开关 S1 为 0001 的扩频码序列，第二路扩频信号 CDMA2 则对应开关 S2 为 0010 的扩频码序列。（拨码开关 S1、S2、S3、S4 的功能，可参考扩频技术相关实验内容说明。）

注：有兴趣的同学可以根据序列产生及特性分析实验和直接序列扩频实验的相关内容，设置 14 号 CDMA 发送模块上两路不同扩频序列，保证二者不同即可，同时在后面的接收端也应注意接收不同码道信息而对应设置不同的扩频码。

此时调制信号输出口为：10 号模块的 P1(调制输出)，以及经过功放后的 P2（发射天线）。

2、继续按下面表格所示，完成 CDMA 通信系统的接收端连线。

(1) 用于接收数字信号 PN 的 CDMA 接收系统的连线。

根据发送端的拨码情况，设置接收端 15 号 CDMA 接收模块中拨码开关 S1=0010，拨码开关 S4=0000。

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: P1(调制输出)	模块 15: J4(扩频信号输入)	将扩频信号送入解扩单元
模块 15: J3(解扩输出)	模块 11: P1(解调输入)	送入解调单元

(2) 用于接收音频信号的 CDMA 接收系统的连线。

将耳麦的耳机插头接入至 12 号模块的耳机接口。

根据发送端的拨码情况，设置接收端 15 号 CDMA 接收模块中拨码开关 S1=0001，拨码开关 S4=0000。

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: P1(调制输出)	模块 15: J4(扩频信号输入)	将扩频信号送入解扩单元
模块 15: J3(解扩输出)	模块 11: P1(解调输入)	送入解调单元
模块 11: TH4(Dout)	模块 5: TH1(译码输入-数据)	送入信道译码单元
模块 11: TH5(BS-out)	模块 5: TH2(译码输入-时钟)	提供信道译码时钟
模块 5: TH3(译码输出-译码数据)	模块 12: TH3(译码输入)	送入 AMBE 解压缩单元
模块 5: TH4(译码输出-时钟)	模块 12: TH4(译码时钟)	提供译码时钟

3、开电，设置主菜单，选择实验项目【CDMA 扩频通信系统实验】。根据所需接收的通道，在设置完扩频码序列后，需要按模块 14 的复位开关 S7 和模块 15 的复位开关 S2，让系统配置拨码值。按 12 号模块的复位键 S1。

4、进行系统联调接收 PN 序列。用示波器对比观测输入信号和输出信号的波形（为观测方便，可先接收 PN 序列），各模块中的增益调节旋钮要适当调节，使信号幅度不宜过小。缓慢调节 15 号模块 CDMA 接收单元的判决门限调节旋钮 W2，捕获指示灯由灭变亮即可，同时也可以示波器观测 TP4 相关 1 的测试点配合观测，缓慢调节压控偏置调节旋钮 W3，观测相关峰值情况。缓慢调节 11 号模块压控偏置调节旋钮 W1，并适当按复位开关 S3 使解调端载波与调制载波同频同相。各个相关旋钮需互相配合调节，直至最后输出波形与原始波形一致。

5、若 PN 序列能成功接收，改变接收端的解扩码序列，使其与语音信号通道上的扩频码一致，再适当调节各个旋钮，感受语音效果。

6、此时为 CDMA 有线通信系统。若想搭建 CDMA 无线通信系统，只需做如下调整。

(1) 除去以下连线：

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: P1(调制输出)	模块 15: J4(扩频信号输入)	将扩频信号送入解扩单元

(2) 分别将 10 号模块的 P2(发射天线)和 15 号模块的 J2(接收天线)接拉杆天线。适当调

节 11 号模块天线接收端的增益调节旋钮 W2，再适当调节压控偏置电位器 W1，按复位 S3，进行系统联调。

注：系统联调时，建议先以有线通信系统进行联调，再转为无线收发。

六、实验报告

- 1、分析实验电路的工作原理，简述其工作过程。
- 2、观测并分析实验过程中的实验现象。