

目录

目录.....	1
I、注意事项及基本操作说明.....	1
一、注意事项.....	1
二、基本操作说明.....	1
II、实验基本模块介绍.....	17
1 号模块 主控单元模块.....	17
2 号模块 数据终端模块.....	22
4 号模块 信道编码模块.....	24
5 号模块 信道译码模块.....	26
10 号模块 软件无线电调制模块.....	27
11 号模块 软件无线电解调模块.....	29
14 号模块 CDMA 扩频模块.....	31
15 号模块 CDMA 解扩模块.....	34
17 号模块 信道模拟模块.....	36
III、实验项目及操作说明.....	39
第一章 现代数字调制技术.....	39
实验一 DBPSK 调制及解调实验.....	39
实验二 QPSK 调制及解调实验.....	44
实验三 OQPSK 调制及解调实验.....	50
实验四 基带信号预成形技术.....	55
实验五 MSK 调制及解调实验.....	60
实验六 GMSK 调制及解调实验.....	68
实验七 $\pi/4$ DQPSK 调制及解调实验.....	74
实验八 16QAM 调制及解调实验.....	81
第二章 扩频技术.....	87

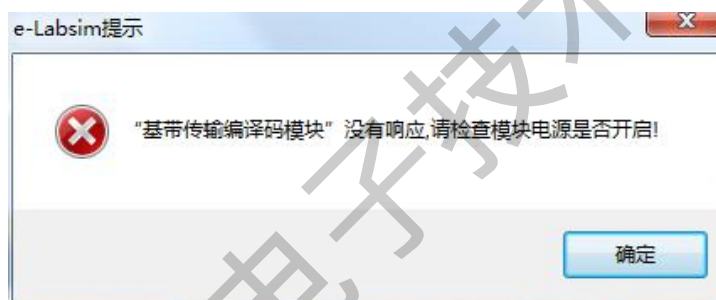
实验九 m 序列产生及特性分析实验.....	87
实验十 Gold 序列产生及特性分析实验.....	91
实验十一 Walsh 序列产生及特性分析实验.....	94
实验十二 直接序列扩频实验.....	97
实验十三 直接序列解扩实验.....	101
第四章 抗衰落技术.....	105
实验十四 线性分组码实验.....	105
实验十五 卷积码实验.....	109
实验十六 交织技术实验.....	112
第五章 移动信道模拟技术.....	116
实验十七 白噪声信道模拟实验.....	116
实验十八 快衰落信道模拟实验.....	119
实验十九 慢衰落信道模拟实验.....	123
第六章 通信系统实验【暂未开放】.....	125
实验二十 GSM 通信系统实验.....	125
实验二十一 TD/DS（时分加直扩）混合多址移动通信.....	127
实验二十二 CDMA 扩频通信系统实验.....	130

I、注意事项及基本操作说明

一、注意事项

(1) 实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真（和实际的硬件实验箱测试方法相同，规范操作为先断电再连线），待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。

(2) 实验过程中如果提示模块未响应时（如下图所示），需按照提示将该模块拖出并断电。



(3) 默认状态下拨码开关及电源开关等都是拨下的状态（输出数据为全 0，即 OFF 位置），运行软件时需根据实际情况进行设置。

二、基本操作说明

1、仿真客户端的安装【实验工坊登陆即用，无需安装】

请按照以下步骤逐步进行安装：

- (1) 如果您的计算机未安装 “.netframework3.5”，请运行安装我们程序附带的 “dotnetfx35_chs.exe”；
- (2) 如果您的计算机未安装 VS2008SP1 开发环境或则 VS2008SP1 运行库，请安装我们附带的“VC2008SP1Runtime.exe”；
- (3) 运行“setup.exe”，安装仿真型开放实验室。

2、如何启动及退出仿真软件【实验工坊登陆即用，无需安装】

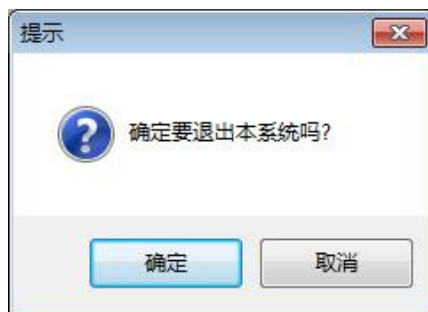
(1) 启动 e-Labsim 仿真系统，如果软件启动报错，请安装运行库 VC2008SP1Runtime 后重新启动 e-Labsim 仿真系统。



双击 e-labsim 的快捷方式 ，进入 e-labsim 登录界面，点击网络配置，将服务器 IP 地址改为:47.98.124.122(该地址为仿真软件基于凌特服务器时的 IP 地址)，服务端口号为:6606，点击确定。在课程那一栏中选择相应的课程（在这里我们选择移动通信），输入正确的登录名和密码后点击登录进入主界面。

(2) 如何退出 e-Labsim 仿真系统
仿真系统的退出方式有两种：

1) 点击主菜单栏中【文件】—>【退出】，此时系统会弹出一个【提示】对话框，点击其中的【确定】选项，即可退出该仿真实验系统。



2) 点击右上角的关闭按钮（如图所示：），系统会弹出一个【提示】对话框，点击其中的【确定】选项，即可退出该仿真实验系统。

3、菜单栏和工具栏介绍

a、菜单栏

【文件】

- ↳ **【新建】**: 可以创建新的实验窗口, 方可在此窗口内进行实验。
- ↳ **【打开】**: 可以打开已建好的实验。
- ↳ **【关闭】**: 关闭当前已建立的实验窗口。
- ↳ **【保存】**: 可在本地电脑上保存实验。
- ↳ **【另存为】**: 将实验保存在本地电脑的其他位置。
- ↳ **【管理实验数据】**: 对实验的数据进行管理。(注: 此功能需配合虚拟仿真管理系统使用, 单独的 e-labsim 客户端无法使用)

弹出的**【实验数据管理】**对话框中含有课程列表、实验列表及实验文件列表三个子框。根据需要, 可以选择实验、保存实验、打开实验、删除实验、提交实验。学生进行打开实验、删除实验、保存实验的操作都是针对服务器端自己的数据库进行的动作, 而提交实验是将自己已完成的实验交给老师, 供老师批阅。

- ↳ **【近期关闭的实验项目: 如 ASK 调制解调实验】**: 可快速打开近期关闭的实验项目。

- ↳ **【退出】**: 可退出仿真实验系统。

【编辑】

- ↳ **【撤销】**: 此功能暂时没有添加。

- ↳ **【剪切】**: 此功能暂时没有添加。

- ↳ **【复制】**: 此功能暂时没有添加。

- ↳ **【粘贴】**: 此功能暂时没有添加。

【视图】

视图菜单栏所含为**【工具栏和停靠窗口】**、**【状态栏】**及**【应用程序外观】**。

- ↳ **【工具栏和停靠窗口】**: 该菜单中所包含的项目如下图所示:



选择“标准”选项框，可调用如下图所示的几种工具，分别为：新建实验区、打开实验、保存实验、运行算法、停止算法、暂停算法、继续算法和放大镜的快捷方式（见下图）。



当选中“移动通信”“仪器仪表”的选项框，可在实验区的右侧展开相应的工具栏。

└→ **【状态栏】**：选中“状态栏”时，可在实验区下方显示当前操作的状态。

└→ **【应用程序外观】**：可设置 e-Labsim 仿真程序的外观。在该选项框中共有“Windows 2000”“office XP”“Windows XP”等六种外观模块可供选择。其中在“office 2007”共有“蓝色样式”、“黑色样式”、“银色样式”和“水绿色样式”四种样式可供用户挑选。

【窗口】

└→ **【层叠窗口】**：将实验区中的实验窗口层叠展示。

└→ **【平铺窗口】**：将实验区中的实验窗口平铺展示。

└→ **【排列图标】**：在该选项卡中，可将当前实验区中的任一实验窗口设置为当前窗口。

└→ **【窗口】**：点击“窗口”选项卡，在弹出的“Windows”对话框中，可以对实验区所有的窗口进行激活、保存、关闭及最小化设置。

【操作】

└→ **【运行算法】**：开始运行后台算法。

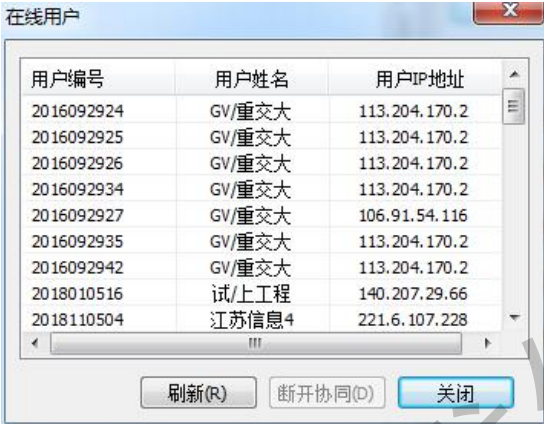
└→ **【停止算法】**：停止运行后台算法。

└→ **【暂停算法】**：暂停后台算法。

└→ **【继续运行算法】**：继续运行后台算法。

└→ **【远程用户列表】**：点击“远程用户列表”，在弹出的“在线用户”对话框中可以

看到在线用户的基本信息，如：编号、姓名及 IP 地址。



用户编号	用户姓名	用户IP地址
2016092924	GV/重交大	113.204.170.2
2016092925	GV/重交大	113.204.170.2
2016092926	GV/重交大	113.204.170.2
2016092934	GV/重交大	113.204.170.2
2016092927	GV/重交大	106.91.54.116
2016092935	GV/重交大	113.204.170.2
2016092942	GV/重交大	113.204.170.2
2018010516	试/上工程	140.207.29.66
2018110504	江苏信息4	221.6.107.228

【工具】

↳ 【设置画布尺寸】：可在这里设置实验窗口界面的大小。

↳ 【设置默认线宽】：可在这里设置实验窗口内连接线的粗细，此处的设置是全局设定。

【帮助】

↳ 【关于 e-Labsim】：点击此处，可看到一个“关于 e—Labsim”版本介绍的对话框。

b、工具栏

工具栏位于 e-Labsim 操作界面的右边，在工具栏的下方有“移动通信”“仪器仪表”的选择列表。

(1) 移动通信：在此栏中，你可以选择移动通信实验所需的相关模块，然后完成相关的实验。

(2) 仪器仪表：仪器仪表区中包含有【示波器】、【远程协助发送】、【远程协助接收】、【函数信号发生器】、【二次开发】模块。

↳ 【示波器】：功能同真实的示波器。将信号线连至示波器 1 或 2 通道，即可观测信号的波形。详见使用说明中【示波器的使用方法】。

↳ 【远程协助发送】、【远程协助接收】：包括远程协助发送和远程协助接收模块，用于在线联机时的远程协同实验。可将处理好的信号通过远程发送模块发送出去，或接收其他

远程发送模块发送的信号。(注：此功能需配合虚拟仿真管理系统使用，单独的 e-labsim 客户端无法使用)

└→【函数信号发生器】：功能同真实的函数信号发生器。能产生正弦函数、三角函数、矩形函数和指数函数等多种函数。详见使用说明中【函数信号发生器的使用方法】。

└→【二次开发】：用于 C 语言或 Matlab 环境下的二次开发。双击装载用户开发的 DLL 文件或 m 函数，即可完成用户定义的功能。详见使用说明中【C/C++二次开发实验】。

c、工具栏的使用方法

(1) 模块的调用方法

停止仿真，如图所示 ，在工具栏中左击鼠标选择所需要的模块，回到实验的工作区再左击鼠标一下，即可将所需模块加载到实验的工作区中。

(2) 模块的删除

若要将已经选择的模块删除，有以下三种方法，执行此操作也需停止仿真，如图所示



1) 在实验的工作区内，右击鼠标选择想要删除的模块，可看到系统弹出“删除模块”和“显示原理框图”两个选项。此时，选择“删除模块”，即可删除该模块。

2) 如果已在工具栏中左击鼠标选择了所需的模块，但不想将其加载到实验的工作区内，此时，只需右击鼠标即可删除模块。

3) 选中待删除模块，利用键盘“Delete”键删除。

(3) 模块的移动

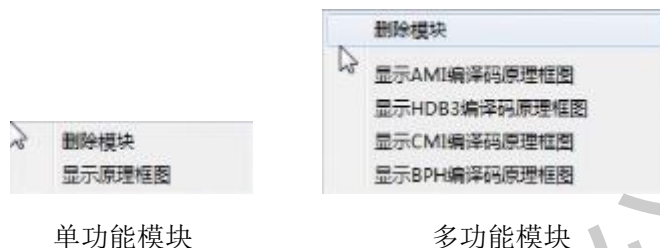
停止仿真，如图所示 ，左击鼠标选择相应的模块不松进行拖动即可改变模块的位置。

(4) 模块的放大与缩小

直接滑动鼠标的滚轮进行调节即可进行模块及页面的缩放，向前滚为放大，向后滚为缩小。

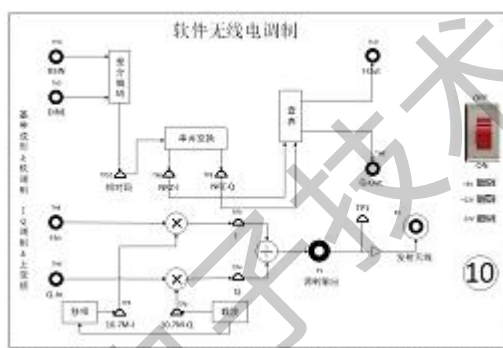
(5) 模块功能框图的查看及隐藏

右击鼠标选择想要查看的模块，选择系统弹出的“显示原理框图”（单功能模块）或者选择弹出的具体功能的原理框图（多功能模块），如下图



单功能模块

多功能模块



MSK 硬调制原理框图

右击鼠标选择想要隐藏的模块框图，选择系统弹出的“隐藏原理框图”进行隐藏。

4、如何开展实验

在仿真平台上，可以自己新建一个工作窗口，添加相应的实验功能模块，进行虚拟连线 and 操作，利用虚拟示波器等仪器进行过程数据分析，熟悉基本原理。

(1) 新建实验：打开 e-Labsim 软件后，单击主菜单中的【文件】【新建】。

(2) 选择模块：按实验要求，在模块列表区和仪器仪表区选择并单击所需模块和实验仪表，拖曳到实验区。

(3) 进行连线：连线方法参考说明“连线 and 调节模块参数”。

(4) 开启系统运行：点击系统总开关  开始运行，同时打开各模块和仪表的电源开关。

(点击左上方的  则停止后台算法，点击左上方  暂停算法，点击  继续运行算法)

(5) 参数设置和调节：设置相关开关、调节相关旋钮，观测和记录相关波形或数据。设置方法参考说明“连线 and 调节模块参数”。

(6) 保存实验：单击主菜单【文件】中的【保存】或【另存为】将实验保存在本地电脑中。

5、连线和调节模块参数

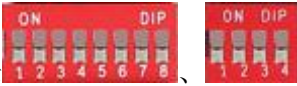
(1) 如何调节电位器

实验模块中包含有可调电位器：。其调节方法为：将鼠标移至电位器上的白色细线处（如图所示，鼠标箭头变为手指型），再顺时针（或逆时针）拖曳鼠标即可。

1) 粗调：用鼠标的左键点击需要调节的旋钮不松并且进行转动即可对旋钮进行调节

2) 微调：将鼠标放置于需要调节的旋钮上，此时鼠标会呈现小手的形状，然后按键盘上方向键中的←和→。

3) 如何设置拨码开关、按键开关、单刀双掷开关

实验模块中包含有拨码开关（如图所示 ）、电源开关（）按键开关（）和单刀双掷开关（）。

其设置方法为：将鼠标移至拨码开关上的某个码位（鼠标箭头变为手指型），再单击鼠标左键，即可将码位设置为 ON 或者 OFF 状态（如图 ，此时拨码开关为 11110000，电源开关为开启状态）。按键开关和单刀双掷开关的设置方法与拨码开关类似，鼠

标移至开关变成手指型（如图所示、），单击鼠标左键即可。

（2）如何连线（连线时仿真软件必须停止运行，如图所示）

实验模块上是信号的输入或输出的连线端口。

实验连线的具体操作方法如下：

- 1) 将鼠标移至某个模块的信号输出端口（如图所示）；
- 2) 直到鼠标变成十字型（如图所示）；
- 3) 再单击鼠标左键即可连接一根线（如图所示，从信号端口引出连线；此时鼠标可以任意移动）；
- 4) 最后移动鼠标选择另一个信号输入端口，直至变成十字型，再单击左键即可完成连

线（如图所示）；

5) 实验连线遵循的一个原则是模块中的信号输入端口只能和信号输出端口直连，也就是说信号输入端口不能与信号输入端口连线，信号输出端口也不能和信号输出端口连线。另外，若没有进行全局设定，实验连线默认的颜色是交替改变，便于识别，此时移动鼠标到连接线上出现小手时支持临时对线宽和线条颜色进行自定义修改；连线的颜色和粗细也可参考菜单栏和工具栏的说明进行设置。

6、示波器的使用

此示波器是以泰克 TDS 1002 型双通道数字示波器为原型，出于技术性考虑，仅对常用的部分按钮作了功能激活。如需要了解仪器操作的详细说明，可参考泰克示波器的用户指导。泰克公司官方网站：www.electronicworkbench.com。

a、功能说明

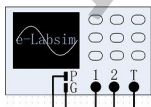
以下是虚拟示波器支持的功能：

- ★ 电源开关 ON/OFF：示波器的电源开启与关闭。
- ★ RUN/STOP：连续采集波形或停止采集。
- ★ SAVE/RECALL：设置和波形的保存。
- ★ DISPLAY：显示“显示菜单”，可选择用 YT 或 XY 两种方式来观测波形。
- ★ MATH：支持 FFT 快速傅里叶变换功能。
- ★ TRIG MENU：显示“触发菜单”，“斜率”可选择“上升”或“下降”。
- ★ SET TO 50%：一键将信源（如 TRIG MENU 信源为 CH1）所处的通道如（CH1）触发电平设置为 50%。
- ★ POSITION：“POSITION（↑ ↓）”可调节波形的垂直位置，“POSITION（←→）”可调节波形的在水平位置。
- ★ SEC/DIV：波形周期的调节。
- ★ VOLTS/DIV：波形电压的调节。
- ★ CH1/CH2 按钮：可关闭或开启显示屏上两个通道的显示，可开启或关闭反相功能。
- ★ CH1/CH2 通道：虚拟示波器提供了两路通道，均可接入信号进行示波显示。
- ★ SINGEL SEQ：单次触发。

b、使用方法

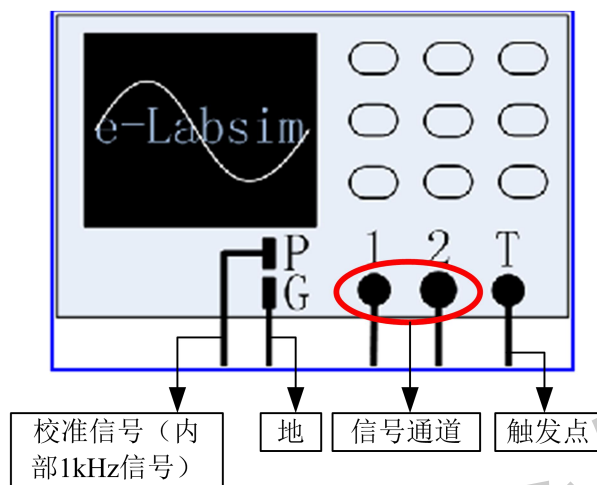
（1）将虚拟示波器连入电路中：

1) 点击工具栏中的【双通道示波器】，将其模型放到工作区域内，并双击示波器的图像



打开仪器。点击电源按钮触发示波器。

2) 参考下图的关键引脚将示波器连入电路。



注：实际使用中只需要接信号通道即可，P、G、T 没有开放。

(2) 示波器的使用方法基本与实际的数字示波器的使用方法是一致的，只是在旋钮的使用与实际有点差别，软件上的示波器主要有以下三种方式调节：

- 1) 用鼠标点击的方式选择需要的刻度；
- 2) 利用鼠标顺时针或逆时针拖动旋钮；
- 3) 将鼠标悬停旋钮上，待鼠标变为手形，结合电脑键盘的 ↑ ↓ 键来调节。

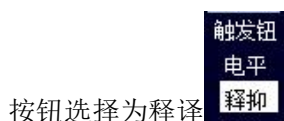
注：示波器第一次打开时通道二的显示开关为关闭状态，点击 CH2MENU 即可观察到二通道的波形，功能同实际示波器。

c、常见信号观测方法

(1) 稳定观测 PN 序列：

- 1) 先将 PN 序列连接至示波器的一通道。
- 2) 点击操作面板右侧的 TRIG MENU，确认信源显示为 CH1 后，点击 SET TO 50%，使触发电平处于 PN 序列的中间位置。

3) 点击 HORIZ MENU 后再点击示波器左侧一排无标识的按钮中倒数第二个按钮，使触发



4) 旋转 LEVEL 按钮直至 PN 序列能够稳定显示。

(2) 眼图观测：

1) 按照实验指导书的要求将 CLK 信号连接至示波器第一通道，眼图观测点连接至第二通道。

- 2) 点击 DISPLAY 按钮，然后点击持续时间右侧对应的按钮，将持续时间打开  开启。
- 3) 当眼图波形不够完整时，可调整基带信号为 PN127。

(3) 星座图观测：

- 1) 按照指导书要求连接两个端口至示波器的两个通道上。
- 2) 点击 DISPLAY 按钮，然后点击格式右侧对应的按钮，改为 XY 格式。
- 3) 当需观察星座图上的相位轨迹时，点击 DISPLAY 按钮，然后点击持续时间右侧对应的按钮，将持续时间打开  开启。

7、远程发送和远程接收

注：此功能需配合仿真管理系统，学生机电脑和服务器电脑处于同一个局域网时才能进行使用。

远程发送和远程接收主要于邀约做协同实验时。远程发送主要是将信号从本机发送至网络，而远程接收主要是将信号从网络端接收至本机。

远程协助实验需两在线用户共同完成。应由一用户调用远程发送模块发送远程邀约，另一用户调用远程接收模块，接收到信号。其基本步骤为：

- (1) 在 e-Labsim 的菜单栏中的【操作】中选择【远程用户列表】可查看在线用户。
- (2) 查看在线的用户，并在在线用户上点击右键，在出现的选择框中选择【请求协同】进行邀约。
- (3) 接收端接收请求后，通过测试仪器显示接收到的信号。

8、C/C++二次开发

一、生成 DLL 工程框架

在 VS2008 的环境下创建一个基于静态库的 MFC-DLL 工程，系统会自动生成一个 DLL 工程框架，如范例中：系统会自动生成“AlgorithmTemplate.cpp”、“AlgorithmTemplate.h”、“AlgorithmTemplate.def”、“stdafx.h”、“targetver.h”文件。其中，“AlgorithmTemplate.def”文件中定义 DLL 导出函数，“AlgorithmTemplate.cpp”中包含导出函数的函数实例，其他文件暂时不需用到。

二、关于增加算法

范例中，我们将算法类取名叫“CAlgorithm”，在工程的“项目”菜单下选择“添加类”子菜单，在弹出的向导中选择 C++ 类，然后输入“CAlgorithm”，完成后即可生成一个新的类，在生成的.cpp 文件中：

```
CAlgorithm::CAlgorithm(void)    //构造函数
```

```
{
}
```

和

```
CAlgorithm::~CAlgorithm(void)  //析构函数
```

```
{
}
```

为系统自动生成

下面的

```
void CAlgorithm::RunAlgrithm( const double * pdInput, double * pdOutput )
```

```
{
}
```

为我们添加进去的算法函数，这个地方放入我们的算法

同样在“Algorithm.h”中，我们需要定义一下算法函数

```
void RunAlgrithm( const double * pdInput, double * pdOutput );
```

在 “Algorithm.h” 中，我们在

public:

*//将算法中需要保存状态值的变量在该处定义，变量初始化在类的构造函数中进行
中定义需要将状态保持到下一次调用算法的变量。变量名称以 “m_” 开头，表示该变量
为算法类的成员变量*

三、对于导出函数的说明:

打开 “AlgorithmTemplate.cpp” 我们可以看到如下代码

```
//创建一个算法对象，并返回算法对象指针

void *LtCreateObject()

{
    CAlgorithm * pAlgorithm = new CAlgorithm();

    //pAlgorithm->Create(IDD_DIALOG,NULL); //如果算法对象是继承自 CDialog 类,则需
调用此行代码

    return static_cast<void*>( pAlgorithm );//返回一个新的算法对象
}

//删除一个算法对象，此函数期待的参数（pObject）正是 LtCreateObject()的返回值

void LtDestroyObject( void * pObject )
{
    ASSERT( pObject != NULL );

    ASSERT( !IsBadWritePtr( pObject, sizeof(CAlgorithm) ) );

    CAlgorithm * pAlgorithm = static_cast<CAlgorithm *>( pObject );

    //pAlgorithm->DestroyWindow(); //如果算法对象是继承自 CDialog 类,则需调用此行代码

    delete pAlgorithm; //删除一个算法对象
}

//算法主函数

//此函数第一个参数（pObject）是 LtCreateObject()的返回值
```

//此函数第二个参数（pdInput）是指向输入数组的指针

//此函数第三个参数（pdOutput）是指向输出数组的指针

```
void LtDLLMain( void * pObject , const double * pdInput, double * pdOutput )
```

```
{
```

```
    ASSERT( pObject != NULL );
```

```
    CAlgorithm * pAlgorithm = static_cast<CAlgorithm *>( pObject );
```

```
    pAlgorithm->RunAlgrithm( pdInput, pdOutput ); //运行算法（调用 RunAlgorithm()函数);
```

```
}
```

//显示算法操作界面(仅当算法对象是继承自 CDialog 类,才需编写此函数)

```
void LtShowWindow( void * pObject )
```

```
{
```

```
    ASSERT( pObject != NULL );
```

```
    ASSERT( !IsBadWritePtr( pObject, sizeof(CAlgorithm) ) );
```

```
    CAlgorithm * pAlgorithm = static_cast<CAlgorithm *>( pObject );
```

```
    //pAlgorithm->ShowWindow( SW_SHOW );    //如果算法对象是继承自 CDialog 类,则需
```

调用此行代码

```
}
```

该部分代码为导出函数的实例程序. 在“AlgorithmTemplate.cpp”的最上面, 我们包含了自己添加的算法类的头文件#include "Algorithm.h"

如果这时候我们添加进去的类名不叫做 CAlgorithm, 那么只需将“AlgorithmTemplate.cpp”中的 CAlgorithm 改为相应的类名即可. 导出函数的其他部分不需做任何修改。

注：参考例程使用的开发软件版本为 Microsoft Visual Studio 2008

(2) 二次开发参数输入：

二次开放上四个可调电位器可以调节二次开发输入信号的参数的输入值，具体参数可在开发程序内部设定。

使用方法：拖出二次开发参数输入模块，将需要调节的元器件连到二次开发模块的端口

上，双击该模块将会出现一个选择对话框，即可进行输入参数数量的调节。

9、MATLAB 二次开发

e—Labsim 使用的是 C 的开发环境，在此模块中，我们提供了“C Link for MATLAB”功能，将 C 的开发环境和 MATLAB 的开发环境无缝相连，可以让客户在使用我公司产品同时，仍能在 MATLAB 的环境下进行二次开发。

注意：MATLAB 版本需为 2009a 或以上版本，Windows 操作系统需为 32 位。

使用方法：

(1) 在 MATLAB 环境中编辑.M 文件，并保存。

(2) 在 e—Labsim 实验中，拖出 MATLAB 二次开发模块，双击该模块加载 M 文件，待 MATLAB 引擎初始化完成之后，方可进行仿真。

注意：此模块只可调用一次，再次进行仿真时必须重启仿真系统。

II、实验基本模块介绍

1 号模块 主控单元模块

一、按键及接口说明

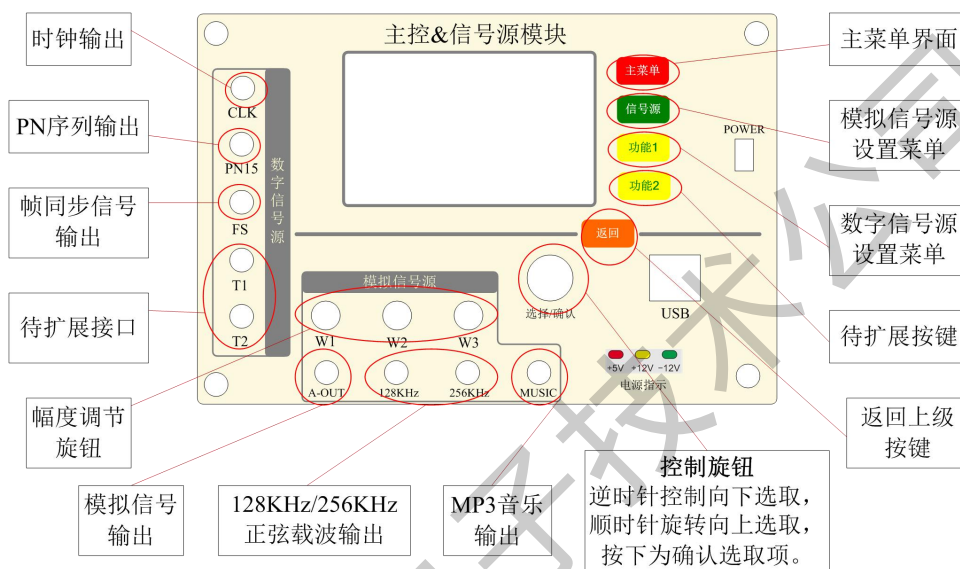


图 1 主控&信号源按键及接口说明

二、功能说明

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

(a) 输出正弦波时没有占空比选项

(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：

数字信号源	
PN输出频率：	4K
FS输出：	模式1

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

按“主菜单”按键后的第一个选项“移动通信”，再确定进入各实验菜单。如下图所示：



图 4 设置为“移动通信”

进入“移动通信实验”菜单后，逆时针旋转光标会向下走，顺时针旋转光标会向上走。按下“选择/确认”时，会设置光标所在实验的功能。有的实验会有跳转到下级菜单，有的则没有下级菜单，没有下级菜单的会在实验名称前标记“√”符号。

在选中某个实验时，主控模块会向实验所涉及到的模块发命令。因此，需要这些模块电源开启，否则，设置会失败。实验具体需要哪些模块，在实验步骤中均由说明，详见具体实验。

4、模块设置功能*（该功能只在自行设计实验时用到）

按“主菜单”按键后的第二个选项“模块设置”，再确定进入模块设置菜单。在“模块设置”菜单中可以对各个模块的参数分别进行设置。如下图所示：

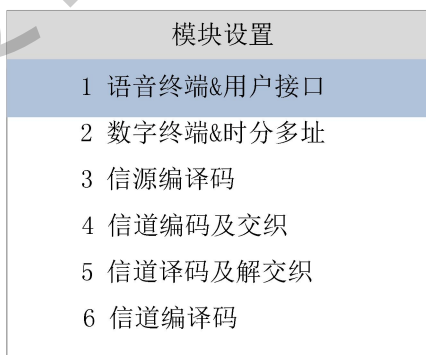


图 5 “模块设置”菜单

a. 2 号 数字终端&时分多址

设置该模块 BSOUT 的时钟频率。

b. 4 号 信道编码及交织

设置该模块 FPGA 工作在“汉明码”、“循环码”、“BCH 码”、“卷积码”、“卷积编码及交织”编码模式。

c. 5 号 信道译码及解交织

设置该模块 FPGA 工作在“汉明码”、“循环码”、“BCH 码”、“卷积码”、“卷积译码及解交织”译码模式。

d. 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。

a. 11 号 软件无线电解调

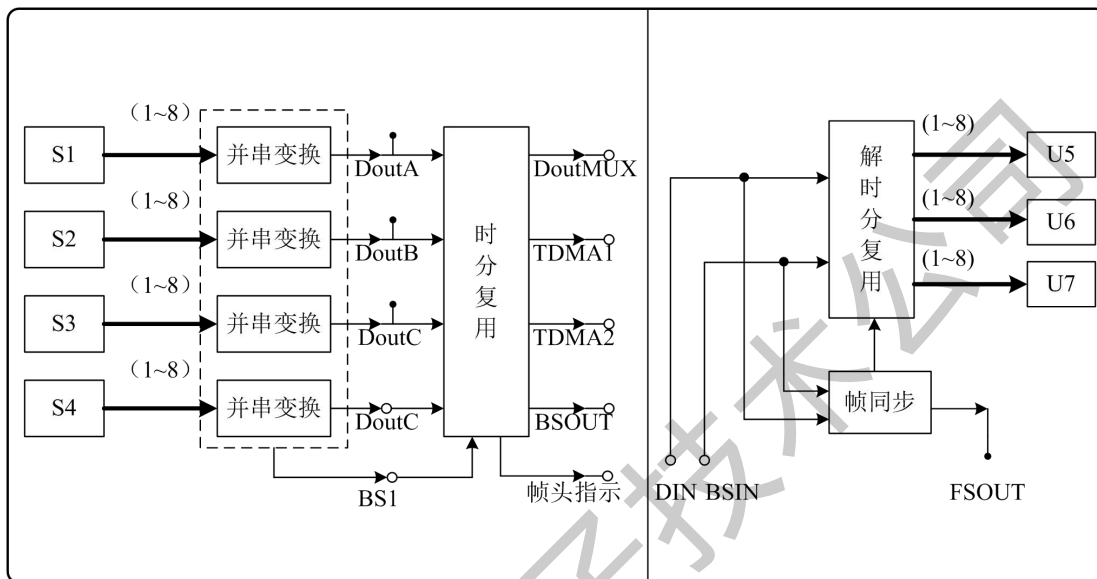
设置该模块的两个参数，BPSK 解调是否需要逆差分变换和解调速率。

5、系统升级

此选项用于模块内部程序升级时使用。

2 号模块 数据终端模块

一、模块框图



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。

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

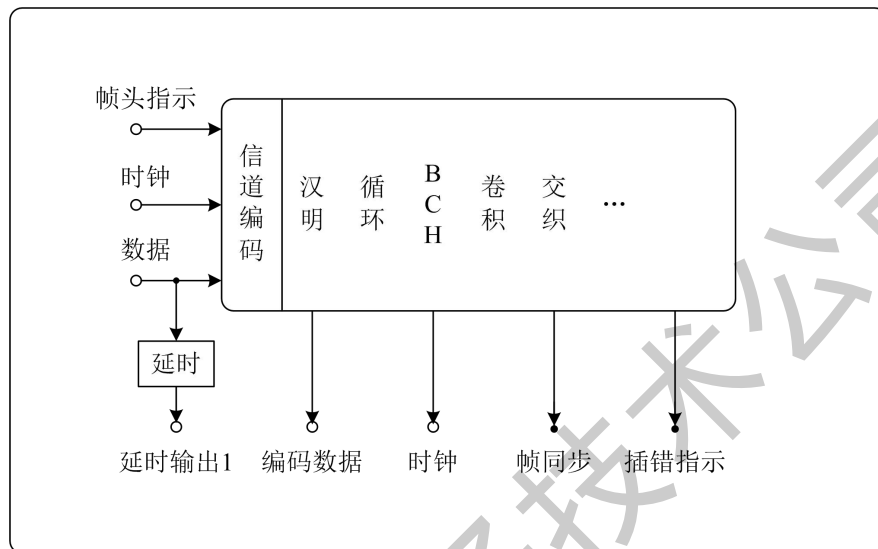
模块	端口名称	端口功能
时分复用	S1-S4	数字信号拨码输入
	U1-U4	显示对应的数字输入信号
	DoutA-DoutC	对应数字信号观测点
	DoutD	对应数字信号观测点/8 位数字信号输出
	BS1	位同步时钟信号输入
	DoutMUX	时分复用输出（DoutA、DoutB、DoutC、DoutD）
	TDMA1	时分复用输出（01110010、00110011、DoutA、DoutB）
	TDMA2	时分复用输出（01110010、01010101、DoutC、DoutD）
	BSOUT	位同步信号输出
	帧头指示	帧头指示信号（仅用于信道编码时的辅助观测）
解复用	DIN	时分复用信号输入
	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

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”。

4 号模块 信道编码模块

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。

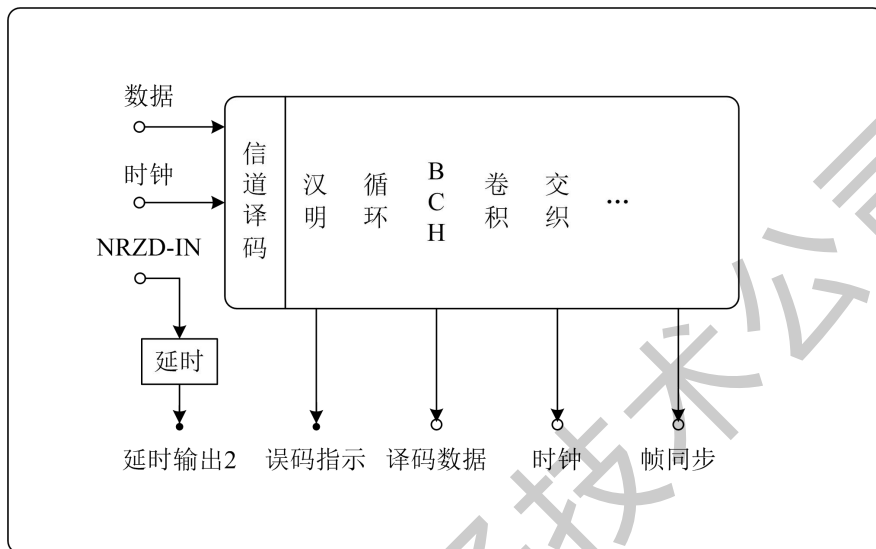
四、端口说明

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。

5 号模块 信道译码模块

一、模块框图



5# 信道译码模块框图

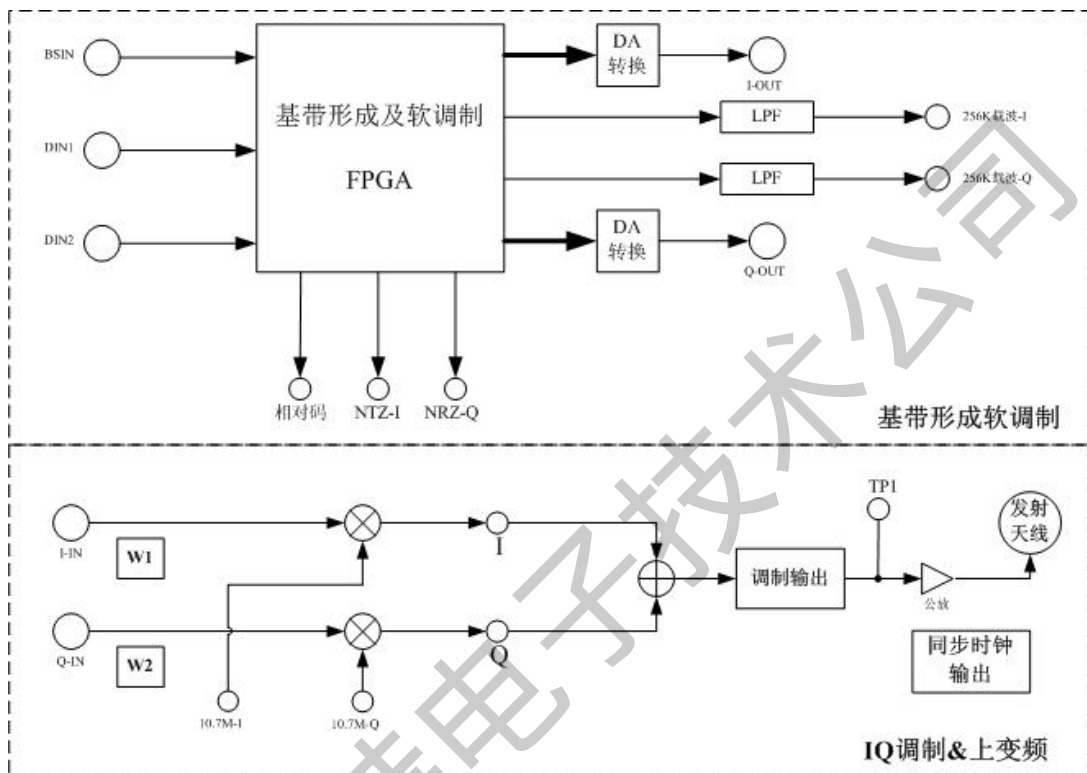
二、端口说明

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。

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

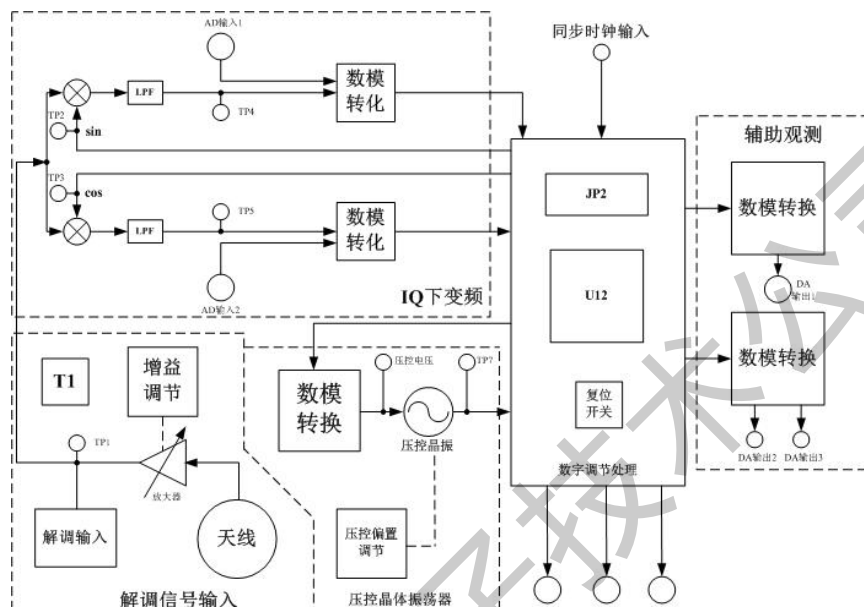
在较高速率调制时，将基带信号的频谱搬移到载波上。

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

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

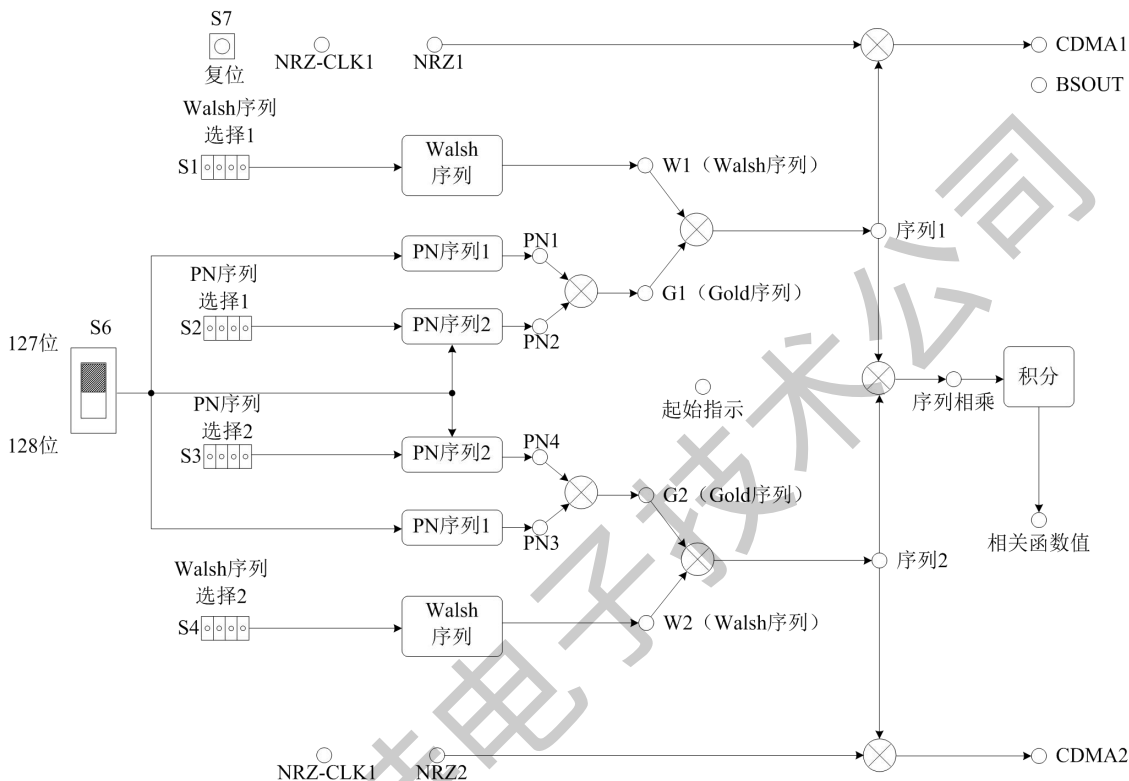
模块	端口名称	端口说明
解调信号输入	接收天线	解调信号无线接收天线接口
	解调输入	解调信号同轴电缆输入口
	TP-1	解调信号输入观测点
压控晶体振荡器	压控电压	压控电压检测
	TP-7	压控晶振输出时钟观测点
数字解调	TP-2	SIN 信号观测
	TP-3	COS 信号观测
	TP-4	解调信号与 SIN 信号相乘通过低通的观测点
	TP-5	解调信号与 COS 信号相乘通过低通的观测点
	AD 输入 1	AD 输入端口 1
	AD 输入 2	AD 输入端口 2
	同步时钟输入	用于相干解调的同步时钟输入
	DA 输出 1	中间信号观测点
	DA 输出 2	中间信号观测点
	DA 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

14 号模块 CDMA 扩频模块

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，把宽带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 ATLERA 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

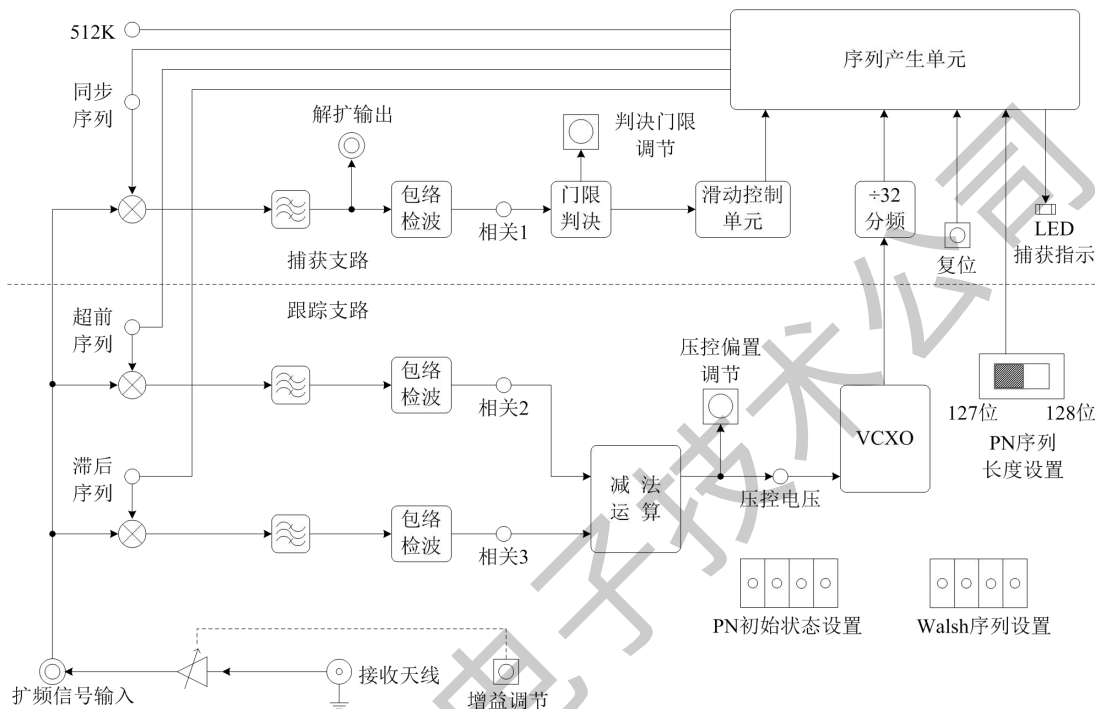
1、PN 序列长度设置：通过在连 6 个 0 后增加一个 0 可得到 128 位 PN 序列，以方便与 16 位的 Walsh 码合成。

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。

15 号模块 CDMA 解扩模块

一、模块框图



二、模块简介

CDMA 解扩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 解扩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

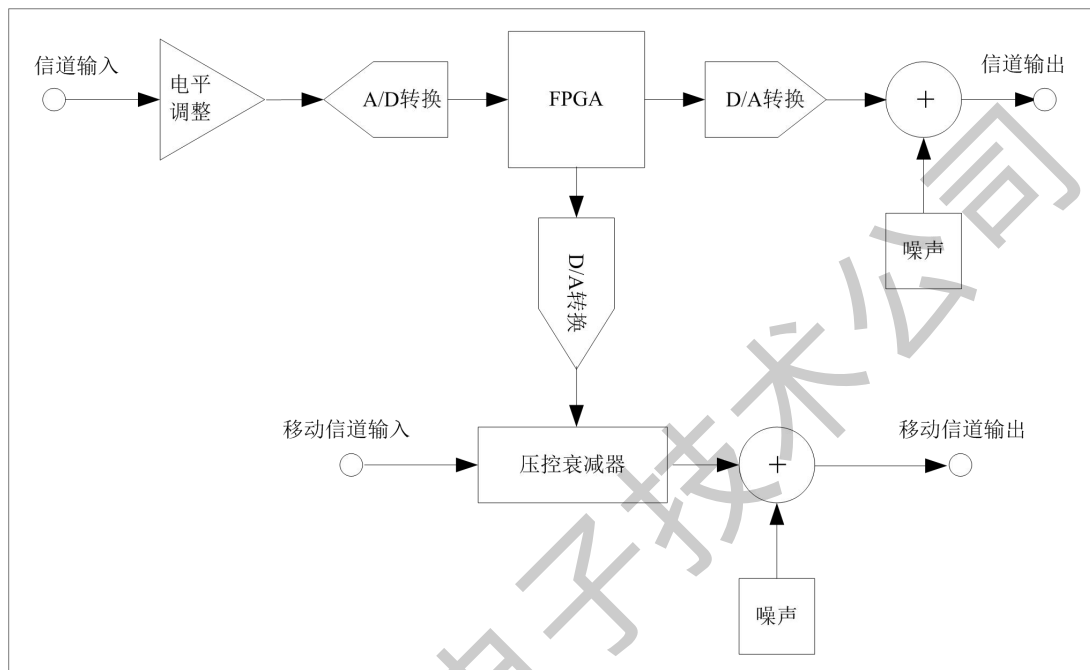
模块	端口名称	端口说明
捕获支路	同步序列	输出解扩序列
	解扩输出	输出解扩信号，是 BPSK 的数字调制信号
	相关 1	同步序列与扩频信号相关计算输出
	512K	解扩序列的时钟信号
跟踪支路	接收天线	解扩天线接收端口
	扩频信号输入	解扩同轴电缆输入端口
	超前序列	与同步序列相比相位超前 1/2 码元
	滞后序列	与同步序列相比相位滞后 1/2 码元
	相关 2	超前序列与扩频信号相关计算输出
	相关 3	滞后序列与扩频信号相关计算输出
	压控电压	控制压控晶振频率变化的信号

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。

17 号模块 信道模拟模块

一、模块框图

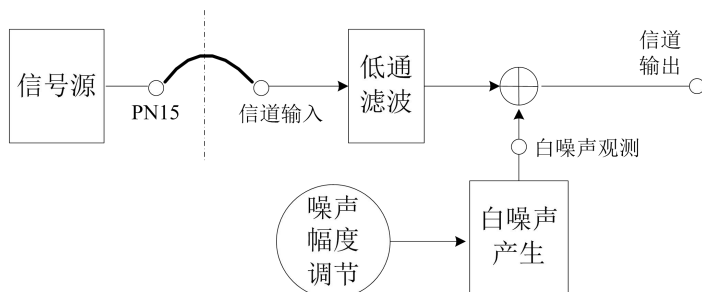


二、模块简介

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

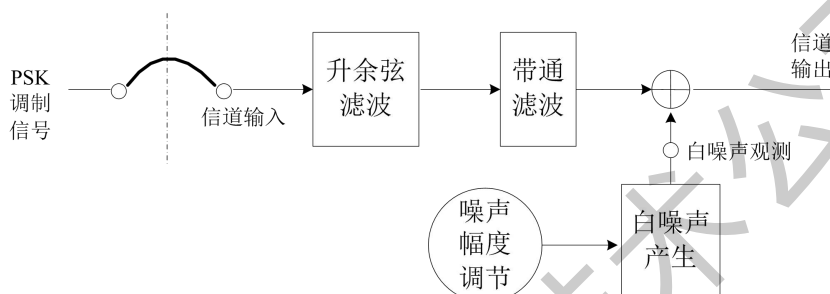


未加升余弦滤波的低通信道模拟

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	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，可以调节信道中白噪声的幅度调节旋钮。

III、实验项目及操作说明

第一章 现代数字调制技术

实验一 DBPSK 调制及解调实验

一、实验目的

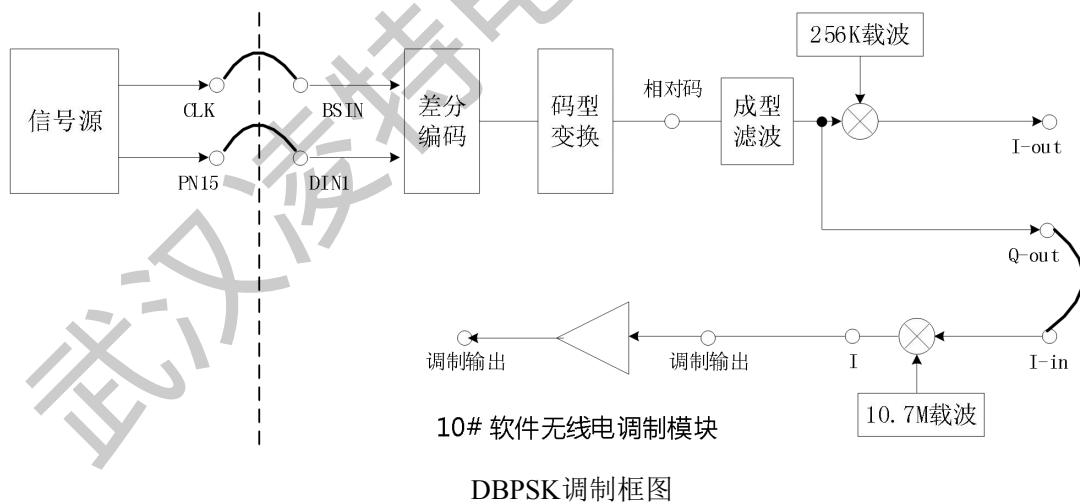
- 1、了解 DBPSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 2 号 数据终端模块
- 5、 示波器

三、实验原理

1、DBPSK实验原理框图

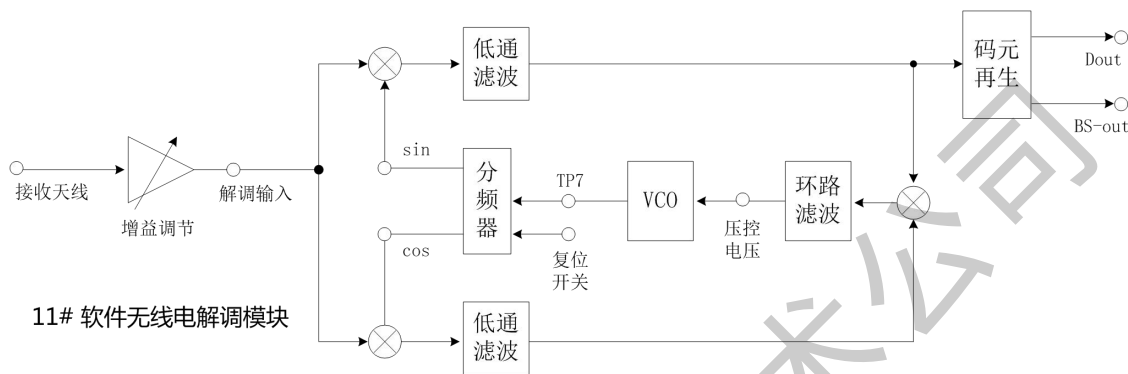


2、DBPSK调制实验框图说明

DBPSK调制过程主要是由10号模块完成，基带信号经过差分处理、码型变换（将单极性码变成双极性码）和成型滤波之后与载波相乘得到调制信号。调制实验框图中描述了两路DBPSK调制，其中一路是成型信号与256KHz载波相乘后，得到的载频为256KHz的调制信号，

从I-out端口输出；另一路是成型信号从Q-out端口输出后，再与10.7MHz载波相乘，得到载频为10.7MHz的调制信号从调制输出端口输出。

3、DBPSK相干解调框图



DBPSK相干解调框图

4、DBPSK相干解调实验框图说明

DBPSK相干解调实验中，载频为10.7MHz的调制信号从解调输入端引入，与同频同相的10.7MHz正交载波相乘，再经过低通滤波器，最后由码元再生电路判决输出原始的基带信号。其中，相干载波是由科斯塔斯环同步提取得到，本地VCO为21.4MHz。

5、根升余弦滤波和升余弦滤波

实际系统中升余弦滚降滤波用于消除码间串扰；一般实际采用的方式是发送端进行成形滤波和接收端进行匹配滤波处理共同实现，这两个环节都是根升余弦滚降滤波。

本实验中选择【根升余弦滤波】菜单项目后，10号模块和11号模块都实现根升余弦滤波功能；经两次根升余弦处理后即是升余弦滤波。通过观测眼图来定性了解码间串扰的大小和升余弦滚降滤波特性，从而了解奈奎斯特第一准则理论。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 DBPSK 调制（10 号模块）

概述：本项目是观测 DBPSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理。

1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，拖出实验所需模块和示波器。

2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 10: TH3(DIN1)	信号输入
信号源: CLK	模块 10: TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 10: TH6(I-In)	成形信号加载频

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【DBPSK 调制及解调】→【相干解调】→【根升余弦滤波及解调】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。如调制实验框图所示，10 号模块 TH7(I-out)为载频 256KHz 的 DBPSK 调制信号；10 号模块 TH9(Q-out)为 DBPSK 的成形信号，10 号模块 P1(调制输出)为载频 10.7M 的 DBPSK 调制信号。

5、调用示波器观测信号源的 PN 和 10 号模块的相对码（TP10），了解基带信号经过差分变换及码型变换后的波形。

注意观察两个信号的零电平位置。

6、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-out)，了解 DBPSK 的基带成形处理后的波形。

思考：调制之前为什么要加基带成型处理？

答：1）基带信号的带宽是无限宽的，需要进行带宽的限制，成型滤波器也叫限带滤波器。

2）矩形脉冲上升和下降是突变的，导致低频和高频分量都比较大，占用的频带带宽也比较宽，如果送入有限的信道中传输，就会出现干扰。

3）基带信号在传输前，通过脉冲成型滤波器可以有效的限制带宽外部的信号，在保证本路信号没有码间串扰的情况下，既能最大限度的利用带宽，又能减少子载波间的各路信号的相互干扰。

7、调用示波器观测信号源的 PN 和 10 号模块 TH7(I-out)，观测原始码元和载波为 256KHz 的 DBPSK 调制信号。

8、调用示波器观测 10 号模块 TP1(P1 调制输出)，观测载波为 10.7MHz 的 DBPSK 调制信号。

任务二 载频为 10.7M 的 DBPSK 相干解调

概述：本项目是对比观测 DBPSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 DBPSK 相干解调的实现方法。

1、停止运行仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

2、运行仿真，设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【DBPSK 调制及解调】→【相干解调】→【根升余弦滤波及解调】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。11 号模块用于从载频为 10.7MHz 的调制信号中恢复出原始信号。

3、调用示波器观测 10 号模块的 10.7M-I 和 11 号模块的 TP2 (SIN)，对比观测原始调制载波和解调端的载波。

4、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测原始信号和恢复信号。

5、调节 W1 使恢复信号和原始信号的码元一致。

任务三 根升余弦滤波和升余弦滤波

概述：本项目是对比观测基带信号经根升余弦滤波处理和升余弦滤波处理后的眼图，从而了解根升余弦滤波和升余弦滤波的特点及关系。

1、关闭仿真，按下面表格所示重新连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 10: TH3(DIN1)	信号送入根升余弦滤波
信号源: CLK	模块 10: TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 11: TH2(AD 输入)	根升余弦成形信号再进行根升余弦处理

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【DBPSK 调制及解调】→【相干解调】→【根升余弦滤波】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz，模块 10 的 Q-OUT 为基带信号经根升余弦滤波处理后的波形，模块 11 的 TH8(DA 输出 1)为再次经过根升余弦滤

波处理后的波形。

4、调用示波器观测信号源 CLK 和 10 号模块的 TH9(Q-Out)，以时钟 CLK 为触发，观测基带信号经根升余弦滤波后的眼图。

5、调用示波器观测信号源 CLK 和 11 号模块的 TH8(DA 输出 1)，以时钟 CLK 为触发，观测基带信号经升余弦滤波后的眼图。

6、从眼图状态中观测最佳抽样点，比较两种滤波的特性和关系。

思考：为什么常用平方根升余弦滤波器而不是升余弦滚降滤波器？

答：数字通信中，实际发射出的信号是各个离散样值序列通过成形滤波器后的成形脉冲序列。匹配滤波器是为了使得在抽样时刻信噪比最大。当发端成形滤波器用根升余弦滤波器，接收端同样用根升余弦滤波器匹配滤波时，既能够使得抽样时刻信噪比最高（即完成匹配滤波器的作用），又能够在一定的带限平坦信道中不引入码间干扰（满足 Nyquist 无码间干扰准则）。

也就是说，发射端和接收端同时使用根升余弦脉冲成形滤波器可以实现升余弦滤波器的效果，消除码间串扰（ISI），而且是匹配滤波，可以实现最佳接收。

（选做）任务四 升余弦滤波及解调

有兴趣的同学可以在主控模块菜单中选择【DBPSK 调制及解调】→【相干解调】→【升余弦滤波及解调】，并参考任务一和任务二的内容，观测升余弦滤波及解调的相关波形。

五、实验报告

- 1、画出 DBPSK 调制的信号流程图。
- 2、分析实验工作原理，简述其工作过程。
- 3、观测并分析实验现象。

实验二 QPSK 调制及解调实验

一、实验目的

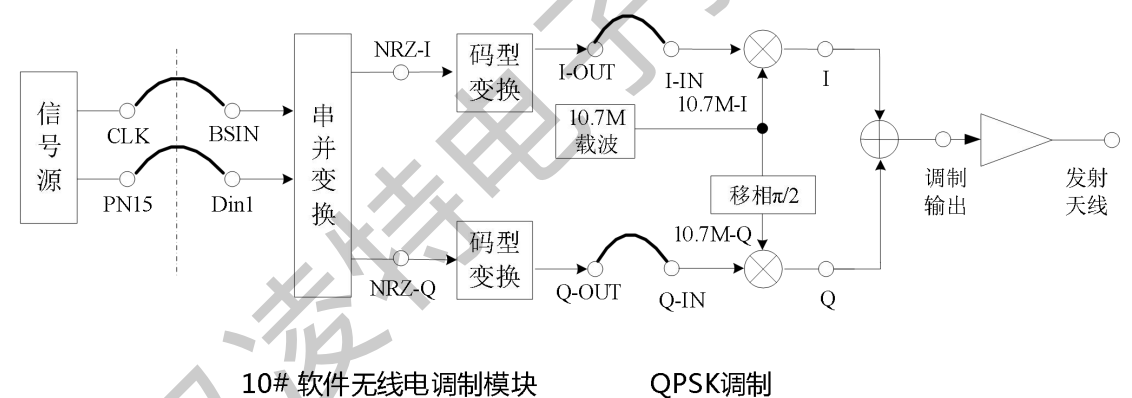
- 1、了解 QPSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

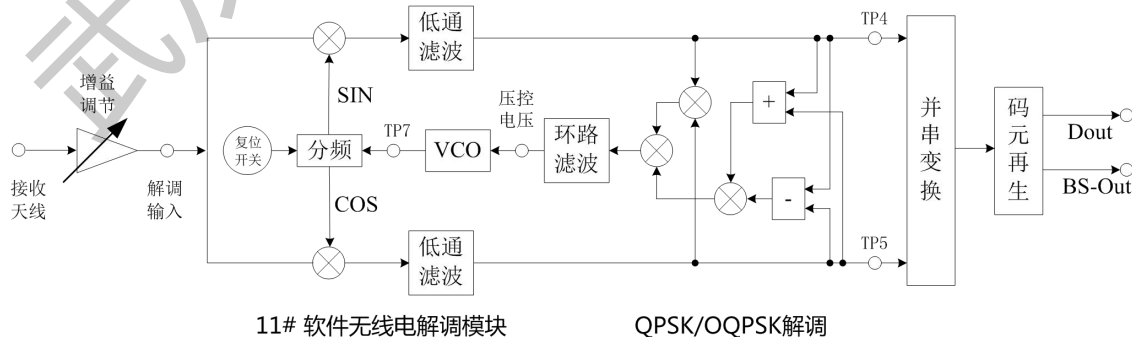
- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 2 号 数据终端模块
- 5、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



QPSK调制框图



QPSK解调框图

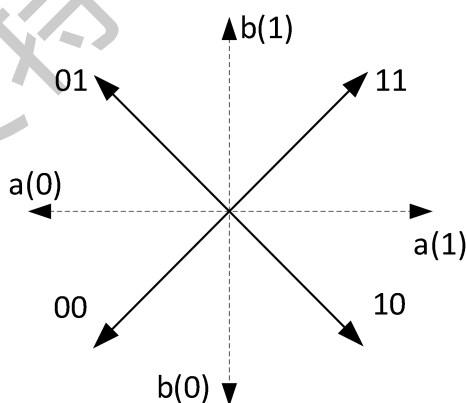
2、实验框图说明

QPSK调制实验框图中，基带信号经过串并变换处理，输出NRZ-I和NRZ-Q两路信号；然后分别经过码型变换（将单极性码变成双极性码）处理，形成I-OUT和Q-out输出；再分别与10.7M正交载波相乘后叠加，最后输出QPSK调制信号。QPSK调制可以看作是两路BPSK信号的叠加。两路BPSK的基带信号分别是原基带信号的奇数位和偶数位，两路BPSK信号的载波频率相同，相位相差90度。OQPSK与QPSK相比，是两路BPSK调制基带信号的相位上的区别，QPSK两路基带信号是完全对齐的，OQPSK两路基带信号相差半个时钟周期。

QPSK解调实验框图中，接收信号分别与正交载波进行相乘，再经过低通滤波处理，然后将两路信号进行并串变换和码元判决恢复出原始的基带信号。其中，解调所用载波是由科斯塔斯环同步电路提取并处理的相干载波。

3、实验原理说明

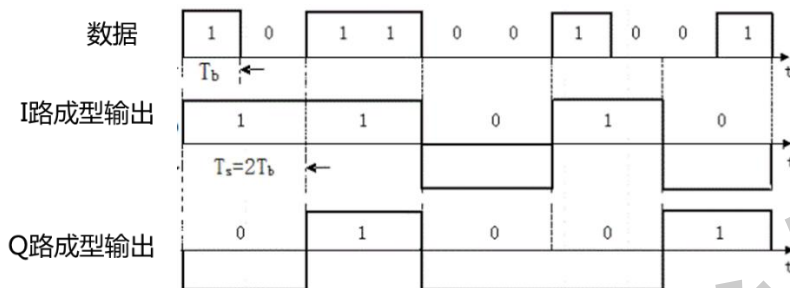
四相相移调制是利用载波的不同相位差来表征输入的数字信息，是四进制相移键控。QPSK是在M=4时的调相技术，它规定了四种载波相位，分别是A方式的0°、90°、180°、270°和B方式的45°、135°、215°、315°，下文中我们主要以B方式为例进行介绍。



B方式星座图

调制器输入的数据是二进制数字序列，为了能和四进制的载波相位配合起来，则需要把二进制数据变换为四进制数据，这就是说需要把二进制数字序列中每两个比特分成一组，共有四种组合，即00,01,10,11，其中每一组称为双比特码元。每一个双比特码元是由二进制信

息比特组成，它们分别代表四个符号中的一个符号。QPSK中每次调制可传输2个信息比特，这些信息比特是通过载波的四种相位来传递的，解调器根据星座图及接收到的载波信号的相位来判断发送的信息比特。



当输入的数字信息为“11”码元时，输出已调载波

$$A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) \quad (1)$$

当输入的数字信息为“01”码元时，输出已调载波

$$A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) \quad (2)$$

当输入的数字信息为“00”码元时，输出已调载波

$$A \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}) \quad (3)$$

当输入的数字信息为“10”码元时，输出已调载波

$$A \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}) \quad (4)$$

接收机收到某一码元的QPSK信号可表示为：

$$y(t) = a \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad \text{其中 } \varphi = \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \quad (5)$$

由QPSK的解调框图得到：

$$I \text{路下变频信号: } I'(t) = a \cos(2\pi f_c t + \varphi) \cos(2\pi f_c t) = \frac{a}{2} \cos(4\pi f_c t + \varphi) + \frac{a}{2} \cos(\varphi) \quad (6)$$

$$\text{Q路下变频信号: } Q'(t) = a \cos(2\pi f_c t + \varphi) \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{-a}{2} \sin(4\pi f_c t + \varphi) + \frac{a}{2} \sin(\varphi)$$

(7)

$$\text{I路滤波后信号: } I = \frac{a}{2} \cos(\varphi) \quad (8)$$

$$\text{Q路滤波后信号: } Q = \frac{a}{2} \sin(\varphi) \quad (9)$$

符号相位 φ	$\cos(\varphi)$ 的极性	$\sin(\varphi)$ 的极性	判决器输出	
			A	B
$\frac{\pi}{4}$	+	+	1	1
$\frac{3\pi}{4}$	-	+	0	1
$\frac{5\pi}{4}$	-	-	0	0
$\frac{7\pi}{4}$	+	-	1	0

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 QPSK 调制

概述：本项目是观测 QPSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-LabSim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 10: TH3(DIN1)	信号输入
信号源: CLK	模块 10: TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10: TH7(I-Out)	模块 10: TH6(I-In)	I 路成形信号加载频
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 10: TH8(Q-In)	Q 路成形信号加载频

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【QPSK 调制及解调】→【QPSK 星座图观测及“硬调制”】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。

5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。

6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号成形前后的波形。

注意观察 NRZ-I、I-OUT 和 NRZ-Q、Q-OUT 信号的零电平位置。

8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，调节示波器为 XY 模式，观察 QPSK 星座图。

9、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TP3(I)，对比观测 I 路成形波形的载波调制前后的波形。

10、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-Out)和 10 号模块 TP4(Q)，对比观测 Q 路成形波形的载波调制前后的波形。

11、调用示波器观测 10 模块的 PN 和 10 号模块的 TP1，观测基带信号和 I 路和 Q 路加载频后的叠加信号，即 QPSK 调制信号

注意观察调制输出信号的相位信息。

任务二 QPSK 相干解调

概述：本项目是对比观测 QPSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 QPSK 相干解调的实现方法。

1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【QPSK 调制及解调】→【QPSK 星座图观测及“硬调制”】。

4、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1 和 11 号模块 TH4(Dout)，适当调节 11 号模块压控偏置电位器 W1 来改变载波相位，并按复位开关 S3，对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形，直至二者波形一致。

5、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 11 号模块 TP4，对比观测原始 I 路成形信号与解调端 I 路成形信号的波形。

6、调用示波器观测 10 号模块 TP9(Q-Out)和 11 号模块 TP5，对比观测原始 Q 路成形信号与解调端 Q 路成形信号的波形。

（选做）任务三 256K 载波调制及软调制

有兴趣的或者需要巩固调制原理知识的同学可以分别选择设置主菜单【QPSK 调制及解调】中的【QPSK I 路调制信号观测】、【QPSK Q 路调制信号观测】以及【QPSK 调制信号观测】，用示波器观测 I-OUT 测试点，可分别了解载频为 256KHz 的 I 路调制信号波形、载频为 256KHz 的 Q 路调制信号波形以及载频为 256KHz 的 QPSK 调制信号波形。

五、实验报告

- 1、分析并画出 QPSK 调制解调的信号流程图。
- 2、分析实验工作原理，简述其工作过程。
- 3、观测并分析实验现象。

实验三 OQPSK 调制及解调实验

一、实验目的

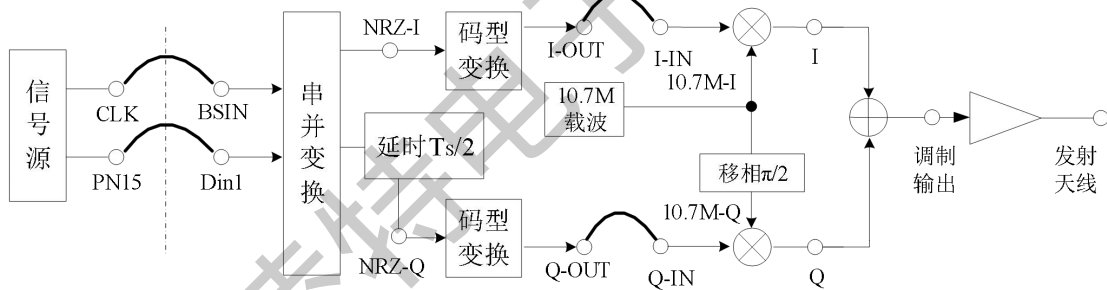
- 1、了解 OQPSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 2 号 数据终端模块
- 5、 示波器

三、实验原理

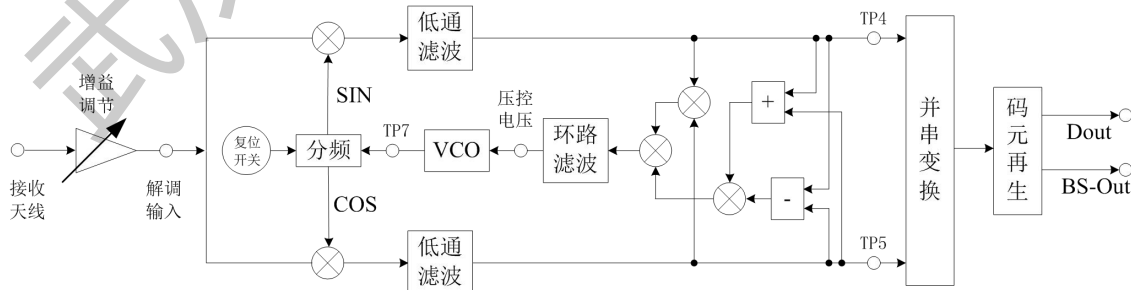
- 1、实验原理框图



10# 软件无线电调制模块

OQPSK调制

OQPSK调制框图



11# 软件无线电解调模块

QPSK/OQPSK解调

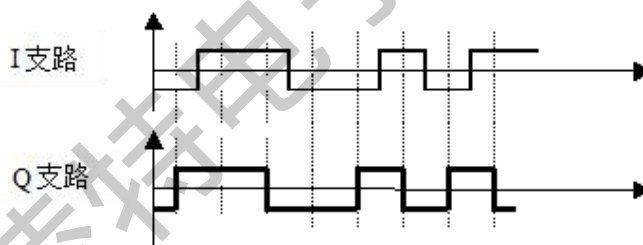
OQPSK解调框图

2、实验框图说明

OQPSK调制实验框图中，基带信号经过串并变换处理，输出NRZ-I和NRZ-Q两路信号，其中Q路信号延时半个时钟周期；然后分别经过码型变换（将单极性码变成双极性码）处理，形成I-OUT和Q-out输出；再分别与10.7M相干载波相乘后叠加，最后输出OQPSK调制信号。

注：这里码型变换处理的方法与QPSK不同。QPSK调制可以看作是两路BPSK信号的叠加。两路BPSK的基带信号分别是原基带信号的奇数位和偶数位，两路BPSK信号的载波频率相同，相位相差90度。OQPSK与QPSK相比，是两路BPSK调制基带信号的相位上的区别，QPSK两路基带信号是完全对齐的，OQPSK两路基带信号相差半个时钟周期。

在OQPSK中，其I支路比特流和Q支路比特流在数据沿上差半个符号周期，其它特性和QPSK信号类似。在QPSK信号中，奇比特流和偶比特流的比特同时跳变，但是在OQPSK信号中，I支路比特流和Q支路比特流，在它们的变化沿的地方错开一比特（半个符号周期）。它们的波形如图所示：



OQPSK 中 I、Q 路数据的交错情况

由于在标准 QPSK 中，相位跳变仅在每个 $T_s=2T_b$ 秒时发生，并且存在 180° 的最大相移。可是在 OQPSK 信号中，比特跳变（从而相位跳变）每 T_b 秒发生一次。因为 I 支路和 Q 支路的跳变瞬时被错开了，所以在任意给定时刻只有两个比特流中的一个改变它的值。这意味着，在任意时刻发送信号的最大相移都限制在 $\pm 90^\circ$ 。因此 OQPSK 信号消除了 180° 相位跳变，改善了其包络特性。

OQPSK解调实验框图中，接收信号分别与正交载波进行相乘，再经过低通滤波处理，然后将两路信号进行并串变换和码元判决恢复出原始的基带信号。其中，解调所用载波是由同步电路提取并处理的相干载波。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 OQPSK 调制

概述：本项目是观测 OQPSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	信号输入
信号源：CLK	模块 10：TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10：TH7(I-Out)	模块 10：TH6(I-In)	I 路成形信号加载频
模块 10：TH9(Q-Out)	模块 10：TH8(Q-In)	Q 路成形信号加载频

- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【OQPSK 调制及解调】→【OQPSK 星座图观测及“硬调制”】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。
- 5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。

思考：对比 QPSK 调制解调实验中该测试点的波形，思考两者的区别。

答：对比串并变换后的 I、Q 两路波形可以看到 OQPSK 调制实验中的两路波形错开了半个码元宽度，减小了在频带受限系统中 QPSK 调制解调实验中 180° 的相位突变带来的信号包络的起伏。观察步骤 8 的星座图轨迹可以明显看出 OQPSK 中消除了 QPSK 星座图中 1 对角线上的两个运行轨迹。

- 6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。

- 7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号

成形前后的波形。

注意观察 NRZ-I、I-OUT 和 NRZ-Q、Q-OUT 信号的零电平位置。

8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，调节示波器为 XY 模式，观察 OQPSK 星座图。

9、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TP3(I)，对比观测 I 路成形波形的载波调制前后的波形。

10、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-Out)和 10 号模块 TP4(Q)，对比观测 Q 路成形波形的载波调制前后的波形。

11、调用示波器观测 10 模块的 TP1，观测 I 路和 Q 路加载频后的叠加信号，即 OQPSK 调制信号。

任务二 OQPSK 相干解调

概述：本项目是对比观测 OQPSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 OQPSK 相干解调的实现方法。

1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【OQPSK 调制及解调】→【OQPSK 星座图观测及“硬调制”】。

4、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH4(Dout)，适当调节 11 号模块压控偏置电位器 W1 来改变载波相位，并按复位开关 S3，对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形，直至二者波形一致。

5、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 11 号模块 TP4，对比观测原始 I 路成形信号与解调端 I 路成形信号的波形。

6、调用示波器观测 10 号模块 TP9(Q-Out)和 11 号模块 TP5，对比观测原始 Q 路成形信号与解调端 Q 路成形信号的波形。

（选做）任务三 256K 载波调制及软调制

有兴趣的或者需要巩固调制原理知识的同学可以分别选择设置主菜单【OQPSK 调制及解调】中的【OQPSK I 路调制信号观测】、【OQPSK Q 路调制信号观测】以及【OQPSK 调制信号观测】，用示波器观测 I-OUT 测试点，可分别了解载频为 256KHz 的 I 路调制信号波形、载频为 256KHz 的 Q 路调制信号波形以及载频为 256KHz 的 OQPSK 调制信号波形。

五、实验报告

- 1、画出 OQPSK 调制解调信号流程图。
- 2、对比 QPSK 调制过程与 OQPSK 调制过程，分析其异同之处，并截图验证。
- 3、分析实验工作原理，简述其工作过程。
- 4、观测并分析实验现象。

实验四 基带信号预成形技术

一、实验目的

- 1、了解正交调制中基带信号的产生原理及方法。
- 2、了解基带滤波器的作用。
- 3、了解工程中常用的设计原理及方法。

二、实验模块

- 1、 主控&信号源模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 示波器

三、实验原理

随着通信业务量的增加，频谱资源日趋紧张，为了提高系统的容量，信道间隔已由最初的 100kHz 减少到 25kHz，并将进一步减少到 12.5kHz，甚至更小。同时，由于数字通信具有建网灵活，容易采用数字差错控制技术和数字加密，便于集成化，并能够进入 ISDN 网，所以目前通信系统都在由模拟制式向数字制式过渡。因此系统中必须采用数字调制技术。

数字信号调制的基本类型分为振幅键控（ASK）、频移键控（FSK）和相移键控（PSK）。然而一般的数字调制技术因传输效率低而无法满足移动通信的要求，为此，需要专门研究一些抗干扰性强、误码性能好、频谱利用率高的调制技术，尽可能地提高单位频谱内传输数据的比特率，以适用于移动通信的窄带数据传输的要求。如最小频移键控（MSK—Minimum Shift Keying），高斯滤波最小频移键控（GMSK—Gaussian Filtered Minimum Shift Keying），四相相移键控（QPSK—Quadrature Reference Phase Shift Keying），交错正交四相相移键控（OQPSK—Offset Quadrature Reference Phase Shift Keying），四相相对相移键控（DQPSK—Differential Quadrature Reference Phase Shift Keying）和 $\pi/4$ 正交相移键控（ $\pi/4$ -DQPSK—Differential Quadrature Reference Phase Shift Keying）已在数字蜂窝移动通信系统中得到广泛应用。

数字调制技术又可分为两类：一类是线性调制技术，主要包括 PSK、QPSK、DQPSK、OQPSK、 $\pi/4$ -DQPSK 和多电平 PSK 等。这一类调制技术要求通信设备从频率变换到放大和发射过程中保持充分的线性，因此在制造移动设备中会增加难度和成本，但可以获得较高

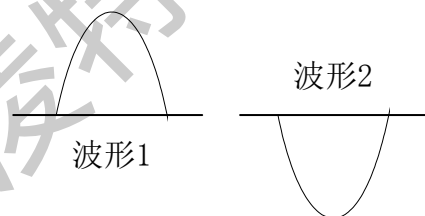
的频谱利用率。另一类是恒包络调制技术，主要包括 MSK、GMSK、GFSK、TFM 等。这类调制技术的优点是已调信号具有相对窄的功率谱和对放大设备没有线性要求，不足之处是其频谱利用率通常低于线性调制技术。由于这两类调制技术各有优势，因此被不同的移动通信系统所采用。如 GSM 系统中采用的就是 GMSK 调制，而 IS-95CDMA 系统采用的是 QPSK 和 OQPSK 调制。

为了使用户能够对各种移动通信中常用的数字调制技术的特点、区别和实现方式有清楚和全面地认识，本实验系统提供了 MSK（最小移频键控）、GMSK（高斯最小移频键控）、QPSK（四相绝对移相键控）、OQPSK（交错正交四相相移键控）、PSK（二进制移相键控）。

大家都知道，一个理想的恒包络信道的频谱几乎是无限宽的，这样的信道对频谱资源来说完全是无法忍受的，为了克服恒包络调制中的频谱利用率低的问题，我们通常会对信号进行频谱限制，即通过滤波的方法对每一个信道进行滤波，以降低其信道带宽，但这样做的一个缺点就是带来了信号的失真，为避免频谱限制所引起的失真，我们在调制之前必须对基带信号进行处理，降低基带信号的占用带宽，这一处理即为基带成形。

基带成形原理：

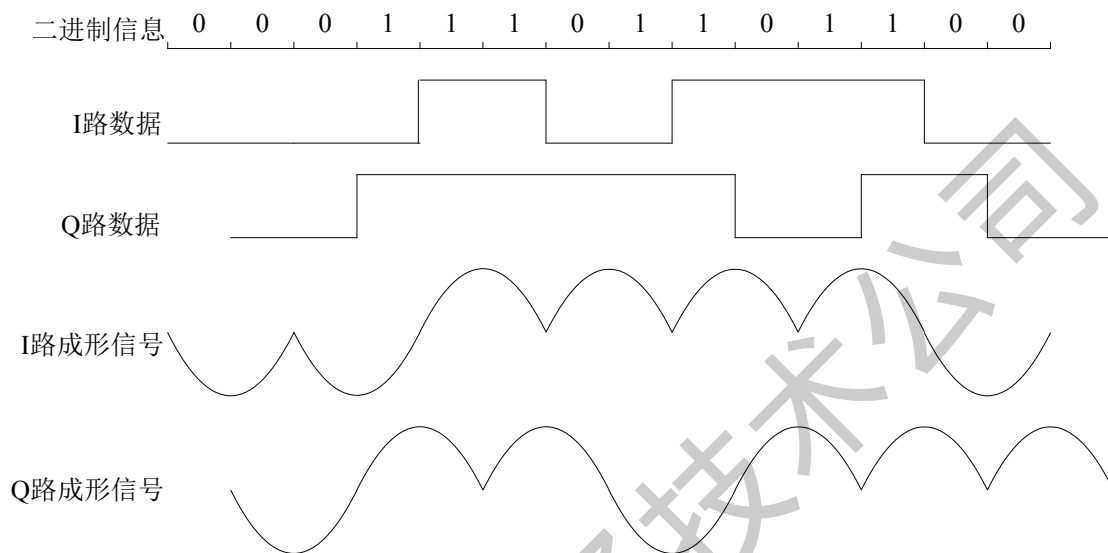
MSK 基带波形只有两种波形组成，如图所示：



MSK 基带信号波形

在 MSK 调制方式中，成形信号取出原理为：由于成形信号只有两种波形选择，因此当前数据取出的成形信号只与它的前一位数据有关。如果当前数据与前一数据相同，数据第一次保持时，输出的成形信号不变（如果前一数据对应波形 1，那么当前数据仍对应波形 1）；从第二次保持开始，输出的成形信号与前一信号相反（如果前一数据对应波形 1，那么当前数据对应波形 2）。如果当前数据与前一位数据相反，数据第一次跳变时，输出的成形信号与前一信号相反（如果前一数据对应波形 1，那么当前数据对应波形 2），从数据第二次跳变开始，

输出的成形信号不变（如果前一数据对应波形 1，那么当前数据仍对应波形 1）。MSK 的基带成形信号波形如下图所示：



MSK 的基带信号波形

GMSK 调制方式，是在 MSK 调制器之前加入一个基带信号预处理滤波器，即高斯低通滤波器，由于这种滤波器能将基带信号变换成高斯脉冲信号，其包络无陡峭边沿和拐点，从而达到改善 MSK 信号频谱特性的目的，高斯低通滤波器需满足以下条件。

- （1）带宽窄，而且是锐截止的；
- （2）具有较低的过冲脉冲响应；
- （3）能保持输出脉冲的面积不变。以上要求分别是为了抑制高频成分，防止过量的瞬时频率偏移以及进行相干检测所需要的。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 MSK 预成形

概述：本项目是观测 MSK 成形信号以及星座图，了解基带信号预成形的产生机理。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。

2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	信号输入
信号源：CLK	模块 10：TH1(BSIN)	时钟输入

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【基带信号预成形技术】→【MSK 星座图观测】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。

5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。

6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。

7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号成形前后的波形。

8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，调节示波器为 XY 模式（示波器 DISPLAY 功能中 XY 格式），观察 MSK 星座图。

任务二 GMSK 预成形

概述：本项目是观测 MSK 成形信号以及星座图，了解基带信号预成形的产生机理。

1、连线保持和任务一的不变。

2、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【基带信号预成形技术】→【GMSK 星座图观测】。

3、类似任务一的测试内容，观测 GMSK 预成形相关波形及星座图。

思考：MSK 及 GMSK 预成形信号有何区别？可以从成形信号的频域特性和星座图（示波器类型选择“点”）等角度观测比较，并分析为何会出现这种差异。

答：从频域上来看 GMSK 的带外频谱衰减更快，从星座图上来看 GMSK 星座图上点数更多且更分散。

这是由于 GMSK 在 MSK 调制器之前加上了一个高斯低通滤波器来进行频谱带宽的抑制，相

应的也造成了误比特性能的下降，且前置的滤波器带宽越窄，带外频谱衰减越快，误比特性能也就越差。

五、实验报告

- 1、简述基带信号成形原理。
- 2、画出基带成型过程。

实验五 MSK 调制及解调实验

一、实验目的

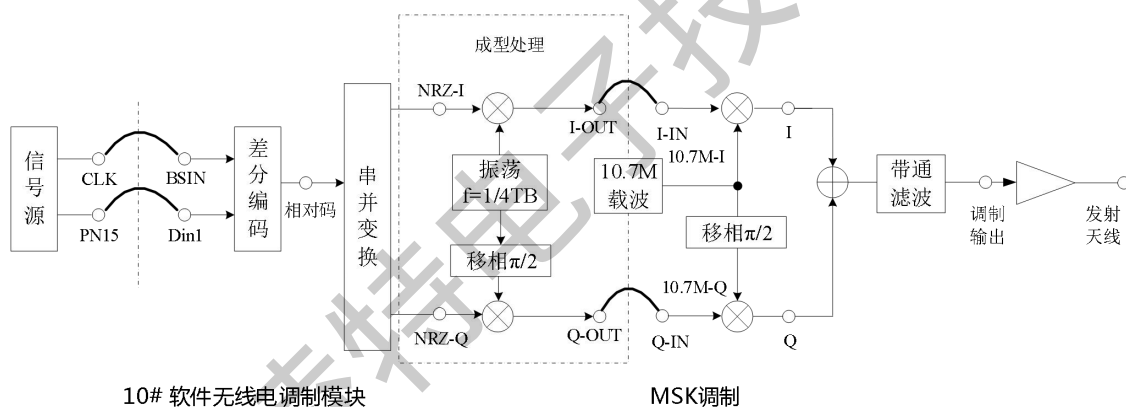
- 1、了解 MSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

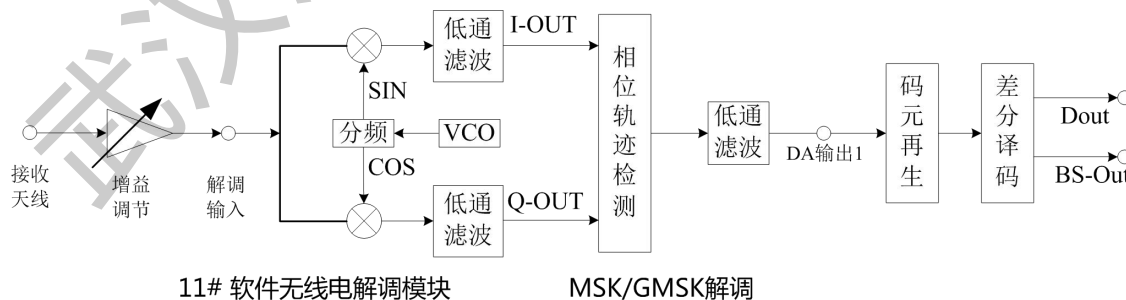
- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 示波器

三、实验原理

- 1、实验原理框图



MSK调制框图



MSK/GMSK解调框图

- 2、实验框图说明

MSK调制实验框图中，基带信号先经过差分变换，再串并变换处理分成奇数位、偶数位

输出NRZ-I和NRZ-Q两路信号（TB为1个时钟周期）；然后分别经过波形成型处理，将基带信号映射成正弦波（是为了得到圆形的星座图），形成I-OUT和Q-out成形输出；再分别与10.7M正交载波相乘后叠加，最后输出MSK调制信号。

MSK解调实验框图中，接收信号分别与正交载波进行相乘，经过低通滤波处理，然后将两路信号进行相位轨迹检测，经低通滤波处理后得到模拟信号，最后通过码元再生电路以及差分逆变换电路恢复出原始的基带信号。其中，解调用的载波与调制端非同步，是译码端本地VCO分频所得的正交载波。

3、实验原理介绍

MSK又称快速频移键控（FFSK，Fast FSK），是FSK的改进型。它是一种包络恒定、相位连续、调制指数h最小（0.5）的正交2FSK信号。因此，它占用的带宽小，频带利用率高，在给定信道带宽的条件下，可以获得比2PSK更快的传输速率，且副瓣（带外）频谱分量衰减比2PSK快。

（1）MSK信号的表达式

$$e_{MSK}(t) = \cos[\omega_c t + \theta_k(t)] = \cos\left[\omega_c t + \frac{a_k \pi}{2T_B} t + \varphi_k\right] \quad kT_B \leq t \leq (k+1)T_B \quad (1)$$

式中： $\omega_c = 2\pi f_c$ 为中心角频率； $\frac{a_k \pi}{2T_B}$ 为相对于 ω_c 的频偏； T_B 为码元宽度； a_k 为第k个码元中的信息，其取值 ± 1 （对应“1”和“0”）； φ_k 为第k个码元的起始相位，它的选择应保证信号相位在码元转换时刻 $t=kT_B$ 是连续的。

由式(1)可看出，MSK信号的两个频率满足

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_c + \frac{1}{4T_B} & a_k &= +1 \text{ 时} \\
 f_0 &= f_c - \frac{1}{4T_B} & a_k &= -1 \text{ 时}
 \end{aligned} \quad (2)$$

频率间隔为

$$\Delta f = f_1 - f_0 = \frac{1}{2T_B} = \frac{R_B}{2} \quad (3)$$

它是保证2FSK的两个载波正交的最小频率间隔，相应的最小调制指数为 $h = \Delta f T_B = 0.5$ 。

(2) MSK信号的相位路径

$$\theta_k(t) = \frac{a_k \pi}{2T_B} t + \varphi_k \quad kT_B \leq t \leq (k+1)T_B \quad (4)$$

式中： $\theta_k(t)$ 称为第 k 个码元的附加相位，它是斜率为 $\frac{a_k \pi}{2T_B}$ 、截距为 φ_k 的直线方程。在任一个码元期间 T_B 内，若 $a_k = +1$ ，则 $\theta_k(t)$ 线性增加 $\pi/2$ ；若 $a_k = -1$ ，则 $\theta_k(t)$ 线性减小 $\pi/2$ 。

(3) 初相 φ_k 的确定

根据相位连续条件——前一码元末尾的相位等于后一码元开始时的相位，应在码元转换时刻 $t = kT_B$ 满足

$$a_{k-1} \frac{\pi k T_B}{2T_B} + \varphi_{k-1} = a_k \frac{\pi k T_B}{2T_B} + \varphi_k \quad (5)$$

由此可得

$$\varphi_k = \varphi_{k-1} + (a_{k-1} - a_k) \frac{\pi k}{2} = \begin{cases} \varphi_{k-1} & a_k = a_{k-1} \text{ 时} \\ \varphi_{k-1} \pm k\pi & a_k \neq a_{k-1} \text{ 时} \end{cases} \quad (\text{mod } 2\pi) \quad (6)$$

这是确保MSK信号的相位在码元转换时刻 $t = kT_B$ 时连续的必要条件，称之为相位约束条件。若设 φ_{k-1} 的初始参考值等于0，则

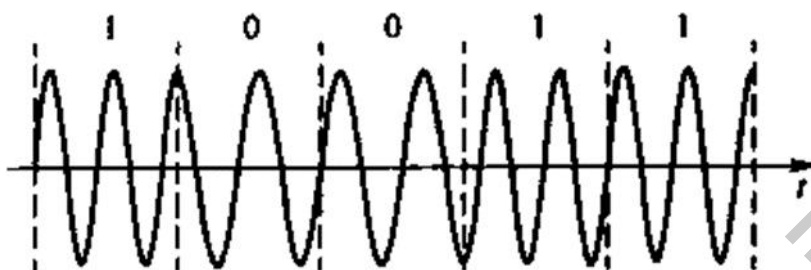
$$\varphi_k = 0 \text{ 或 } \pm \pi \quad (\text{mod } 2\pi) \quad (7)$$

$$\text{由此可得 } e_{MSK}(t) = \cos[\omega_c t + \theta_k(t)] \quad kT_B \leq t \leq (k+1)T_B \quad (8)$$

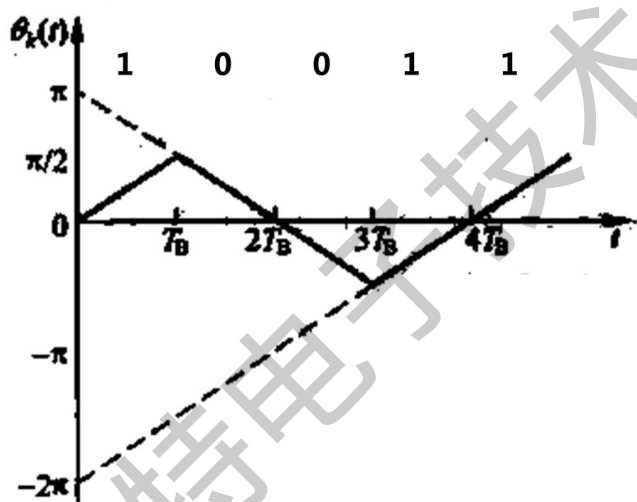
$$\text{式中: } \theta_k(t) = \frac{a_k \pi}{2T_B} t + \varphi_k$$

下图所示为输入数据序列为10011时的MSK信号的时间波形和相位路径图。可见，信号的

相位在码元转换时刻是连续的。



MSK信号的时间波形



MSK信号的相位路径图

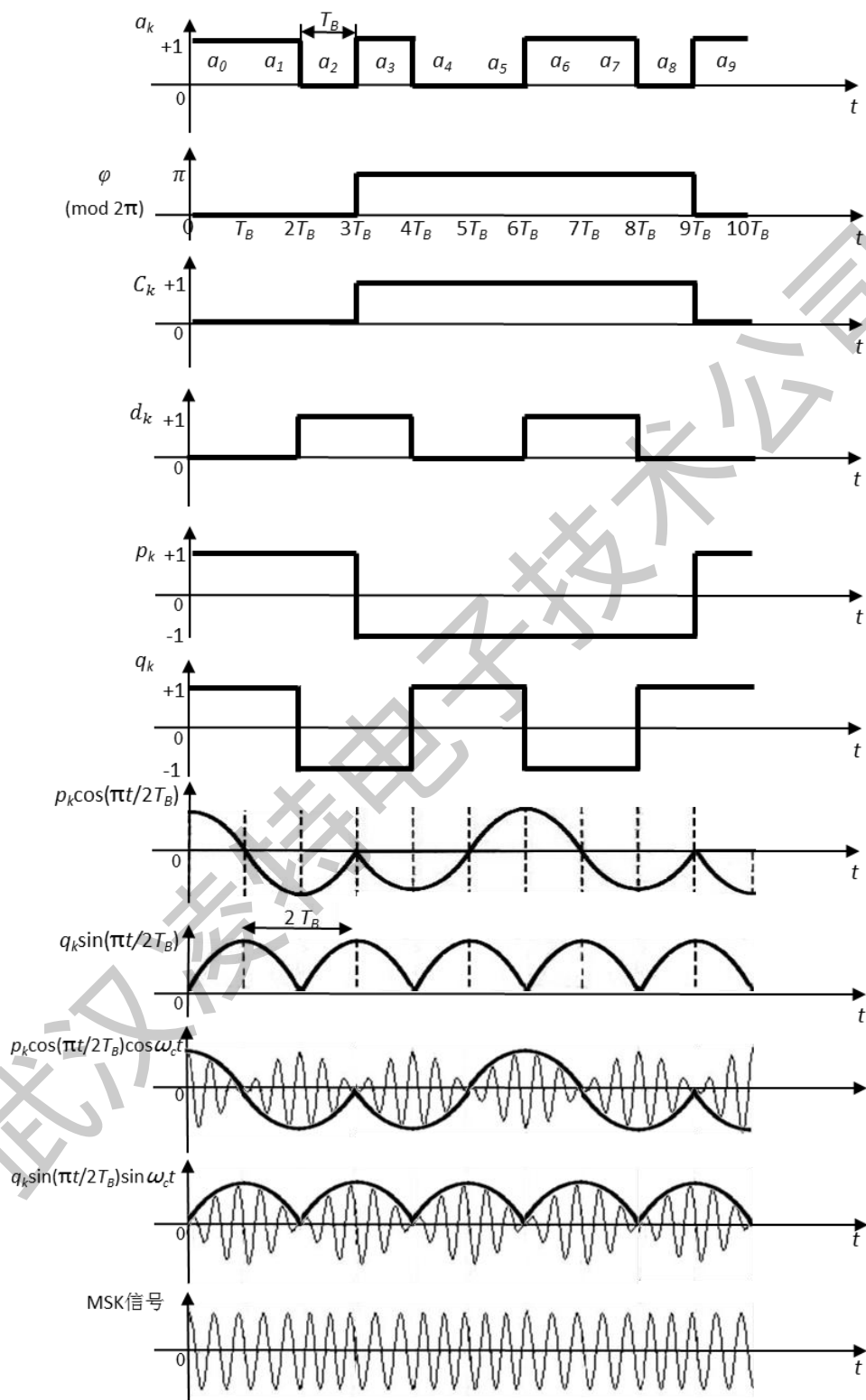
(4) MSK信号的调制和解调

MSK信号可用模拟调频法或正交调制法产生。将(1)式展开,可得MSK信号的正交表示形式:

$$e_{MSK}(t) = I_k \cos \frac{\pi t}{2T_B} \cos \omega_c t - Q_k \sin \frac{\pi t}{2T_B} \sin \omega_c t \quad kT_B \leq t \leq (k+1)T_B \quad (8)$$

式中: $I_k = \cos \varphi_k = \pm 1$; $Q_k = a_k \cos \varphi_k = a_k I_k = \pm 1$ 。

根据上式构成的MSK信号的调制器框图见“实验原理框图”, MSK的解调采用的是相干解调的方式。



MSK信号的两个正交分量

C_k : I路基带信号; d_k : Q路基带信号; $p_k \cos(\pi t/2 T_B)$: I路基带成型信号; $p_k \sin(\pi t/2 T_B)$: Q路基带成型信号; $p_k \cos(\pi t/2 T_B) \cos \omega_c t$: I路调制信号; $q_k \sin(\pi t/2 T_B) \sin \omega_c t$: Q路调制信号。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 MSK 调制

概述：本项目是观测 MSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 10: TH3(DIN1)	信号输入
信号源: CLK	模块 10: TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10: TH7(I-Out)	模块 10: TH6(I-In)	I 路成形信号加载频
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 10: TH8(Q-In)	Q 路成形信号加载频

- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【MSK 调制及解调】→【MSK 硬调制及解调】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。
- 5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。
- 6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。
- 7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号成形前后的波形。
- 8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)， 调节示波器为 XY 模式，观察 MSK 星座图。

9、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TP3(I)，对比观测 I 路成形波形的载波调制前后的波形。

10、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-Out)和 10 号模块 TP4(Q)，对比观测 Q 路成形波形的载波调制前后的波形。

11、调用示波器观测 10 模块的 TP1，观测 I 路和 Q 路加载频后的叠加信号，即 MSK 调制信号。

任务二 MSK 非相干解调

概述：本项目是对比观测 MSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 MSK 非相干解调的实现方法。

1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【MSK 调制及解调】→【MSK 硬调制及解调】。

4、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 11 号模块 TP4，对比观测原始 I 路成形信号与解调端 I 路成形信号的波形。（由于载波是非相干，可见解调端的 I 路基带波形有起伏。）

5、调用示波器观测 10 号模块 TP9(Q-Out)和 11 号模块 TP5，对比观测原始 Q 路成形信号与解调端 Q 路成形信号的波形。（由于载波是非相干，可见解调端的 Q 路基带波形有起伏。）

6、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH10(DA 输出 1)，对比观测原始基带信号与解调后但未经码元再生判决的信号。

7、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形。

（选）任务三 256K 载波调制及软调制

有兴趣的或者需要巩固调制原理知识的同学可以分别选择设置主菜单【MSK 调制及解调】中的【MSK I 路调制信号观测】、【MSK Q 路调制信号观测】以及【MSK 软调制信号观

测】，用示波器观测 I-OUT 测试点，可分别了解载频为 256KHz 的 I 路调制信号波形、载频为 256KHz 的 Q 路调制信号波形以及载频为 256KHz 的 MSK 调制信号波形。

五、实验报告

- 1、分析实验工作原理，简述其工作过程，并截图证明。
- 2、观测并分析实验过程中的实验现象。

实验六 GMSK 调制及解调实验

一、实验目的

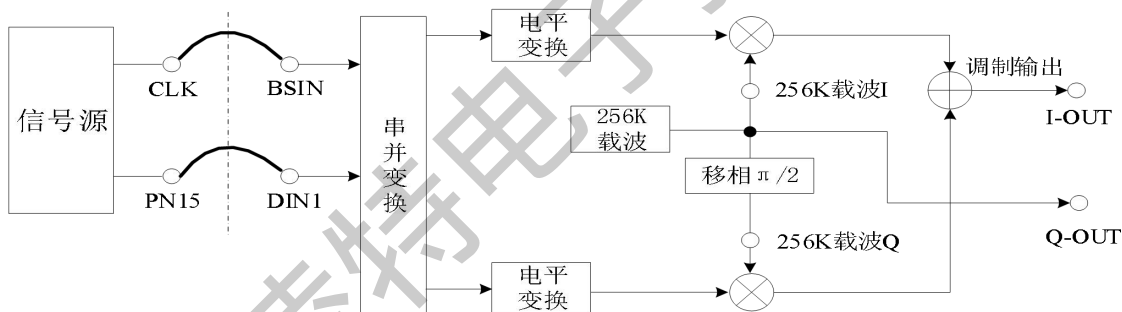
- 1、了解 GMSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 示波器

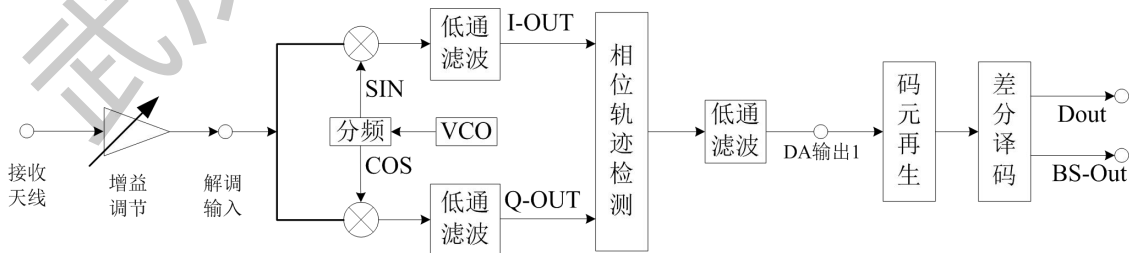
三、实验原理

- 1、实验原理框图



16QAM/64QAM调制框图

GMSK调制框图



11# 软件无线电解调模块

MSK/GMSK解调

MSK/GMSK解调框图

- 2、实验框图说明

GMSK调制实验框图中，基带信号先经过差分变换，再串并变换处理分成奇数位、偶数位输出NRZ-I和NRZ-Q两路信号（TB为1个时钟周期）；然后分别经过高斯低通滤波器和成型处理，将基带信号映射成正弦波（是为了得到圆形的星座图），形成I-OUT和Q-out成形输出；再分别与10.7M正交载波相乘后叠加，最后输出GMSK调制信号。GMSK与MSK相比，在基带成形时加入了高斯型的低通滤波器，以减小两个不同频率的载波切换时的跳变能量，使得在相同的数据传输速率时频道间距可以变得更紧密。由于数字信号在调制前进行了高斯预调制载波，调制信号在交越零点不但相位连续，而且平滑过渡，因此GMSK调制的信号频谱紧凑、误码特性好，在数字移动通信中得到了广泛使用，如现在广泛使用的GSM移动通信体制就是使用GMSK调制方式。

通常将高斯滤波器的3dB带宽B和输入码元宽度T的乘积BT值作为设计高斯滤波器的一个主要参数。BT值越小，相邻码元之间的相互影响越大。理论分析和计算机模拟结果表明。BT值越小，GMSK信号功率频谱密度的高额分量衰减越快。主瓣越小，信号所占用的频带越窄，带外能量的辐射越小，邻道干扰也越小。

GMSK解调实验框图中，接收信号分别与正交载波进行相乘，经过低通滤波处理，然后将两路信号进行相位轨迹检测，经过低通滤波处理后得到模拟信号，最后通过码元再生电路以及差分逆变换电路恢复出原始的基带信号。其中，解调用的载波与调制端非同步，是译码端本地VCO分频所得的正交载波。

3、实验原理说明

在MSK调制之前，用一个高斯型低通滤波器对矩形的输入基带信号进行预处理，这种体制称为GMSK。相对于MSK来说，它可以进一步使信号的功率谱密度集中和减小对邻道的干扰。该高斯低通滤波器的频率特性表示式为

$$H(f)=\exp[-(\ln 2/2)(f/B)^2] \quad (1)$$

式中：B为滤波器的3dB带宽。

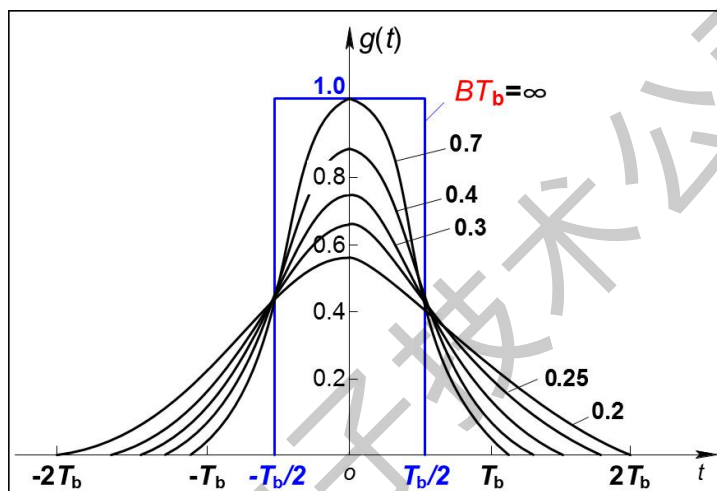
将上式做逆傅里叶变换，得到此滤波器的冲击响应h(t)为

$$h(t)=\frac{\sqrt{\pi}}{\alpha}\exp\left[-\left(\frac{\pi}{\alpha}t\right)^2\right] \quad (2)$$

式中：
$$\alpha = \frac{\sqrt{\ln 2}}{\sqrt{2}} \frac{1}{B} = \frac{0.5887}{B}。$$

(1) 高斯滤波器的矩形脉冲响应

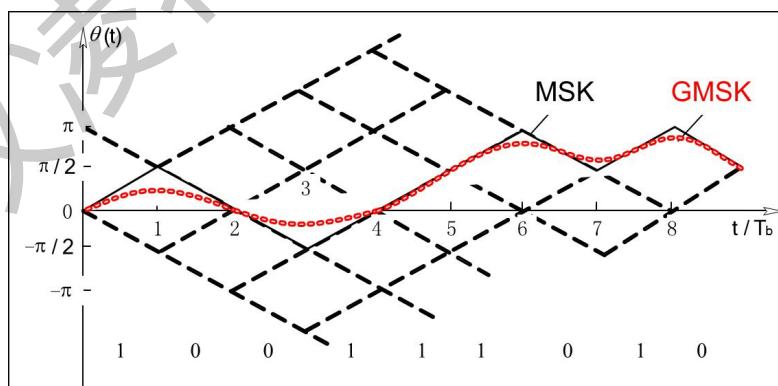
让一个高为 1，持续时间为 $(-T_b/2 \sim +T_b/2)$ 的矩形方波通过该滤波器，则其输出脉冲 $g(t)$ 在 $\pm T_b/2$ 变得圆滑。



BT_b 越小，输出脉冲的宽度越大，ISI 越严重。

在第二代 移动通信系统（GSM）中，采用 $BT_b = 0.3$ 的 GMSK 调制。

(2) GMSK 信号的相位路径



可见：消除了MSK相位路径在码元转换时刻的相位转折点。没有相位转折点，该时刻的导数也是连续的，即信号的频率不会突变，这将使信号谱的旁瓣衰减更快。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停

止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。)

任务一 GMSK 调制

概述：本项目是观测 GMSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	信号输入
信号源：CLK	模块 10：TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10：TH7(I-Out)	模块 10：TH6(I-In)	I 路成形信号加载频
模块 10：TH9(Q-Out)	模块 10：TH8(Q-In)	Q 路成形信号加载频

- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【GMSK 调制及解调】→【GMSK 硬调制及解调】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。
- 5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。
- 6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。
- 7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号成形前后的波形。
- 8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)， 调节示波器为 XY 模式，观察 GMSK 星座图。
- 9、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TP3(I)，对比观测 I 路成形波形的载波调制前后的波形。
- 10、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-Out)和 10 号模块 TP4(Q)，对比观测 Q 路成形波形的载波调制前后的波形。

11、调用示波器观测 10 号模块的 TP1，观测 I 路和 Q 路加载频后的叠加信号，即 GMSK 调制信号。

任务二 GMSK 非相干解调

概述：本项目是对比观测 GMSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 GMSK 非相干解调的实现方法。

- 1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

- 2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【GMSK 调制及解调】→【GMSK 硬调制及解调】。

4、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 11 号模块 TP4，对比观测原始 I 路成形信号与解调端 I 路成形信号的波形。（由于载波是非相干，可见解调端的 I 路基带波形有起伏。）

5、调用示波器观测 10 号模块 TP9(Q-Out)和 11 号模块 TP5，对比观测原始 Q 路成形信号与解调端 Q 路成形信号的波形。（由于载波是非相干，可见解调端的 Q 路基带波形有起伏。）

6、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH10(DA 输出 1)，对比观测原始基带信号与解调后但未经码元再生判决的信号。

7、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形。

（选）任务三 256K 载波调制及软调制

有兴趣的或者需要巩固调制原理知识的同学可以分别选择设置主菜单【GMSK 调制及解调】中的【GMSK I 路调制信号观测】、【GMSK Q 路调制信号观测】以及【GMSK 软调制信号观测】，用示波器观测 I-OUT 测试点，可分别了解载频为 256KHz 的 I 路调制信号波形、载频为 256KHz 的 Q 路调制信号波形以及载频为 256KHz 的 GMSK 调制信号波形。

五、实验报告

- 1、分析实验工作原理，简述其工作过程，并截图证明。

2、观测并分析实验过程中的实验现象。

武汉凌特电子技术公司

实验七 $\pi/4$ DQPSK 调制及解调实验

一、实验目的

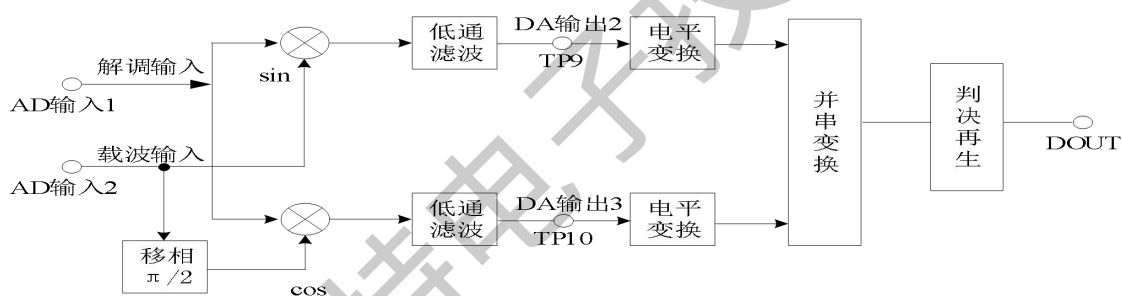
- 1、了解 $\pi/4$ DQPSK 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 示波器

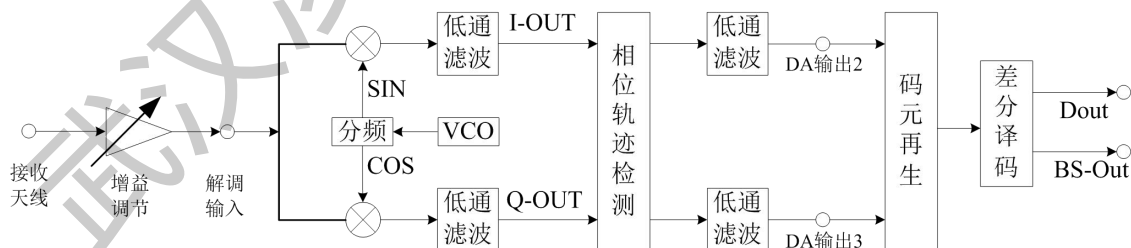
三、实验原理

1、实验原理框图



16QAM/64QAM解调框图

$\pi/4$ DQPSK调制框图



11# 软件无线电解调

$\pi/4$ DQPSK解调

$\pi/4$ DQPSK解调框图

2、实验框图说明

$\pi/4$ DQPSK 调制实验框图中，基带信号先经过差分变换得到相对码，再串并变换处理输出 NRZ-I 和 NRZ-Q 两路信号；然后分别经过相位映射处理，形成 I-out 和 Q-out 成形输出；再

分别与10.7M正交载波相乘后叠加，最后输出 $\pi/4$ DQPSK 调制信号。

$\pi/4$ DQPSK解调实验框图中，接收信号分别与正交载波进行相乘，经过低通滤波处理，然后将两路信号进行相位轨迹检测，经低通滤波处理后得到模拟信号，最后通过码元再生电路以及差分逆变换电路恢复出原始的基带信号。其中，解调所用两路载波是译码端本地VCO分频所得正交载波。

3、实验原理说明

$\pi/4$ DQPSK 的传输信号有如下的形式：

$$x(t) = \cos(\omega_c t + \Phi(t)) \quad (1)$$

$\Phi(t)$ 是相位分量，包含着信息。 $\Phi(t)$ 在一个符号 T 期间是常数，因此

$$x(t) = \cos(\omega_c t + \Phi_k) \quad (2)$$

把上式展开得到

$$\begin{aligned} x(t) &= \cos \omega_c t \cos \Phi_k - \sin \omega_c t \sin \Phi_k \\ &= I_k \cos \omega_c t - Q_k \sin \omega_c t \end{aligned} \quad (3)$$

其中 $I_k = \cos \Phi_k$ 和 $Q_k = \sin \Phi_k$ 是第 k 个符号的同相分量和正交分量的幅度值。

在 $\pi/4$ DQPSK 调制中，信息是以相位的形式进行传输的。第 k 个符号的相位 Φ_k 可以表示成

$$\Phi_k = \Phi_{k-1} + \Delta\Phi_k \quad (4)$$

Φ_{k-1} 是第 k-1 个符号的相位， $\Delta\Phi_k$ 是相位的变化量。

$\pi/4$ DQPSK 调制方式中，每个符号包含两位的输入信息。输入数据和相位的变换关系如下表所示。

$\pi/4$ DQPSK 数据与相位的变换关系

	A_k, B_k	$\Delta\Phi_k$	Sign of $\cos\Delta\Phi_k$	Sign of $\sin\Delta\Phi_k$
0	0 0	$5\pi/4$	0	0

1	0	1	$3\pi/4$	0	0
2	1	0	$7\pi/4$	1	0
3	1	1	$\pi/4$	1	1

把 $I_k = \cos\Phi_k$ 和 $Q_k = \sin\Phi_k$ 利用三角函数关系展开得到

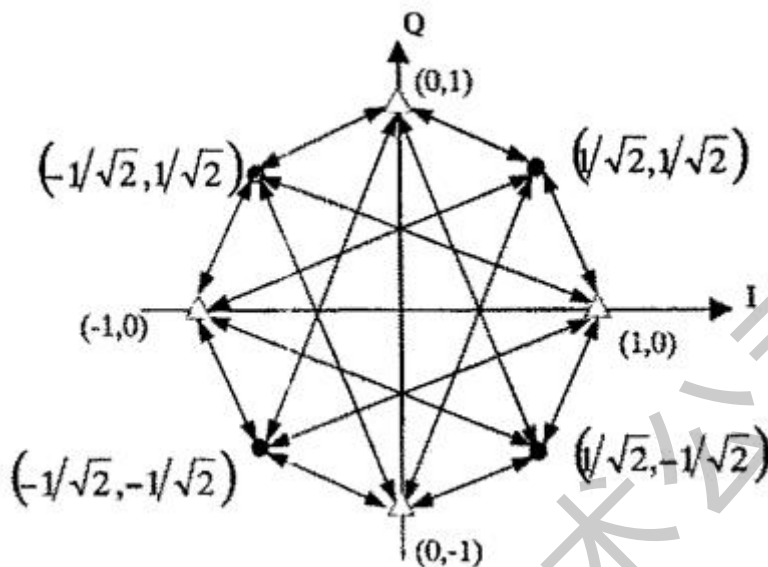
$$I_k = I_{k-1}\cos\Delta\Phi_k - Q_{k-1}\sin\Delta\Phi_k = \cos(\Phi_{k-1} + \Delta\Phi_k) = \cos(\Phi_k) \quad (5)$$

$$Q_k = I_{k-1}\sin\Delta\Phi_k - Q_{k-1}\cos\Delta\Phi_k = \sin(\Phi_{k-1} + \Delta\Phi_k) = \sin(\Phi_k) \quad (6)$$

公式（5）和（6）表明 I_k 和 Q_k 不仅与输入数据有关，而且与前一次数值 I_{k-1} 和 Q_{k-1} 有关。

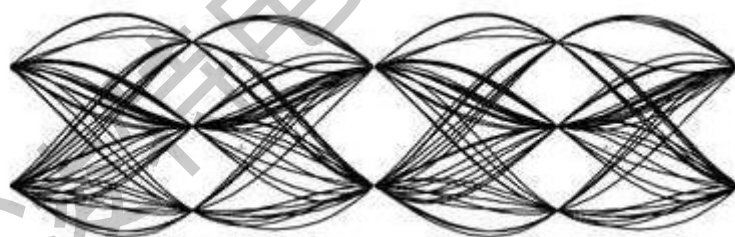
假设 0 时刻的参考相位是 0 弧度，则 I_k 和 Q_k 的幅度可以从 $\pm 1, 0, \pm\sqrt{2}/2$ 中任何一个。如果 k 是奇数，则 I_k 和 Q_k 只能取两个幅度值 $\pm\sqrt{2}/2$ 。如果 k 是偶数，则 I_k 和 Q_k 可以取 3 个幅度值：-1,0,1。具体的推导过程如下：

设初始状态为 $I_0 = 1, Q_0 = 0, \Phi_0 = 0(k=0)$ 。当 $k=1$ 时，可能的输入符号有 4 中情况：0,1,2,3。如果输入的符号是“3”，则 $\Delta\Phi_k = \pi/4$ ，从公式（4）可知，对应的相位输出为 $\Phi_1 = \pi/4$ 。同理可以得出其他三种符号输入情况时对应的输出相位分别为： $\{5\pi/4, 3\pi/4, 7\pi/4\}$ 。也就是说，在 $k=1$ 时刻，可能的输出相位有 4 种情况 $\{5\pi/4, 3\pi/4, 7\pi/4, \pi/4\}$ 。当 $k=2$ 时，根据 $k=1$ 时刻的推导过程，可以知道 $k=2$ 时刻的可能输出相位是： $\{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ 。当 $k=3$ 时，我们发现该时刻信号输出相位的可能取值回到了 $k=1$ 时刻的情况。随着 k 的变化不断循环下去，最终可以得到 $\pi/4$ -DQPSK 的相位转移图（即星座图）。 $\pi/4$ -DQPSK 的这种相位特性使得对于每个连续比特，保证其在每个符号期间至少有一个 $\pi/4$ 整数倍的相位跳变，这使得接收机能够进行时钟恢复和同步。下图画出了 $\pi/4$ -DQPSK 的信号星座图。



$\pi/4$ -DQPSK 信号星座图

可以看出 $\pi/4$ -DQPSK 信号的相位有 8 种情况，且相位在 $\alpha = \{5\pi/4, 3\pi/4, 7\pi/4, \pi/4\}$ 集合和 $\beta = \{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ 集合之间交替变换。因而在不同的时刻，信号的输出会取出会取不同的幅度值。我们用眼图可以直观的看出这种信号电平的变化。



$\pi/4$ -DQPSK 信号眼图

四、实验步骤

(注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。)

任务一 $\pi/4$ DQPSK 调制

概述：本项目是观测 $\pi/4$ DQPSK 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。

2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 10: TH3(DIN1)	信号输入
信号源: CLK	模块 10: TH1(BSIN)	时钟输入
模块 10: TH7(I-Out)	模块 10: TH6(I-In)	I 路成形信号加载频
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 10: TH8(Q-In)	Q 路成形信号加载频

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【 $\pi/4$ DQPSK 调制及解调】→【星座图观测及“硬调制”】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz。

5、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TP9(NRZ-Q)，观测基带信号经过串并变换后输出的两路波形。

6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 10 号模块 TH7(I-Out)，对比观测 I 路信号成形前后的波形。

7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，对比观测 Q 路信号成形前后的波形。

8、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TH9(Q-Out)，调节示波器为 XY 模式，观察 $\pi/4$ DQPSK 星座图。

思考：对比其它调制方式的星座图，思考 $\pi/4$ DQPSK 调制方式存在的意义。

1) $\pi/4$ DQPSK 的相邻码元中总有相位改变，有利于在接收端提取码元同步。

2) $\pi/4$ DQPSK 的载波相移限制为 $\pm \pi/4$ 和 $\pm 3\pi/4$ ，降低了 QPSK 的包络波动，并可以有效地进行非相干解调。

3) 对比恒包络的 MSK 等调制方式，具有更高的频谱效率，实现起来比较简单。

9、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 10 号模块 TP3(I)，对比观测 I 路成形波形的载波调制前后的波形。

10、调用示波器观测 10 号模块 TH9(Q-Out)和 10 号模块 TP4(Q)，对比观测 Q 路成形波形的载波调制前后的波形。

11、调用示波器观测 10 模块的 TP1，观测 I 路和 Q 路加载频后的叠加信号，即 $\pi/4$ DQPSK 调制信号。

任务二 $\pi/4$ DQPSK 非相干解调

概述：本项目是对比观测 $\pi/4$ DQPSK 解调信号和原始基带信号的波形，了解 $\pi/4$ DQPSK 相干解调的实现方法。

- 1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

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)	已调信号送入解调端

- 2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【 $\pi/4$ DQPSK 调制及解调】→【星座图观测及“硬调制”】。
- 4、调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)和 11 号模块 TH4(Dout)，适当微调 11 号模块压控偏置电位器 W1，并按复位开关键 S3。对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形。
- 5、调用示波器观测 10 号模块 TH7(I-Out)和 11 号模块 TP4，对比观测原始 I 路成形信号与解调后 I 路成形信号的波形。
- 6、调用示波器观测 10 号模块 TP8(NRZ-I)和 11 号模块 TP9(DA 输出 2)，对比观测原始 I 路信号与解调后未经门限判决的 I 路信号波形。
- 7、调用示波器观测 10 号模块 TP9(Q-Out)和 11 号模块 TP5，对比观测原始 Q 路成形信号与解调后 Q 路成形信号的波形。
- 8、调用示波器观测 10 号模块 TP9(NRZ-Q)和 11 号模块 TP10(DA 输出 3)，对比观测原始 Q 路信号与解调后未经门限判决的 Q 路信号波形。

（选）任务三 256K 载波调制及软调制

有兴趣的或者需要巩固调制原理知识的同学可以选择设置主菜单【 $\pi/4$ DQPSK 调制及解调】中的【I 路调制信号观测】、【Q 路调制信号观测】以及【软调制信号观测】，观测载频为 256KHz 的 I 路调制信号波形、Q 路调制信号波形以及 $\pi/4$ DQPSK 调制信号波形，输出测试点为 I-OUT。

五、实验报告

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

武汉凌特电子科技有限公司

实验八 16QAM 调制及解调实验

一、实验目的

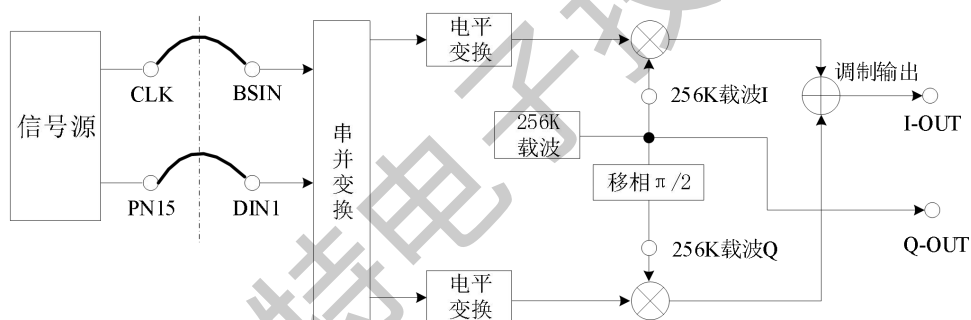
- 1、了解 16QAM 调制解调的原理及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 示波器

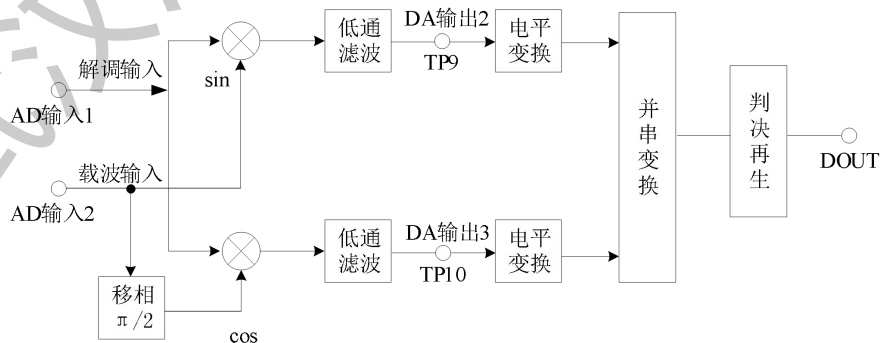
三、实验原理

1、实验原理框图



16QAM/64QAM调制框图

16QAM调制框图



16QAM/64QAM解调框图

16QAM解调框图

2、实验框图说明

系统由10号模块进行16QAM调制，11号模块进行16QAM解调。建议使用127位的PN序列看16QAM星座图。

3、实验原理说明

正交振幅调制（QAM）是一种振幅和相位联合键控

（1）MQAM 信号的星座图

MQAM 信号表示式可写成

$$S_{MQAM} = \sqrt{\frac{2}{T_B}} (A_i \cos \omega_c t + B_j \sin \omega_c t) \quad (1)$$

其中， A_i 和 B_j 是振幅，表示为

$$\begin{cases} A_i = \pm (2i - 1) \\ B_j = \pm (2j - 1) \end{cases} \quad (2)$$

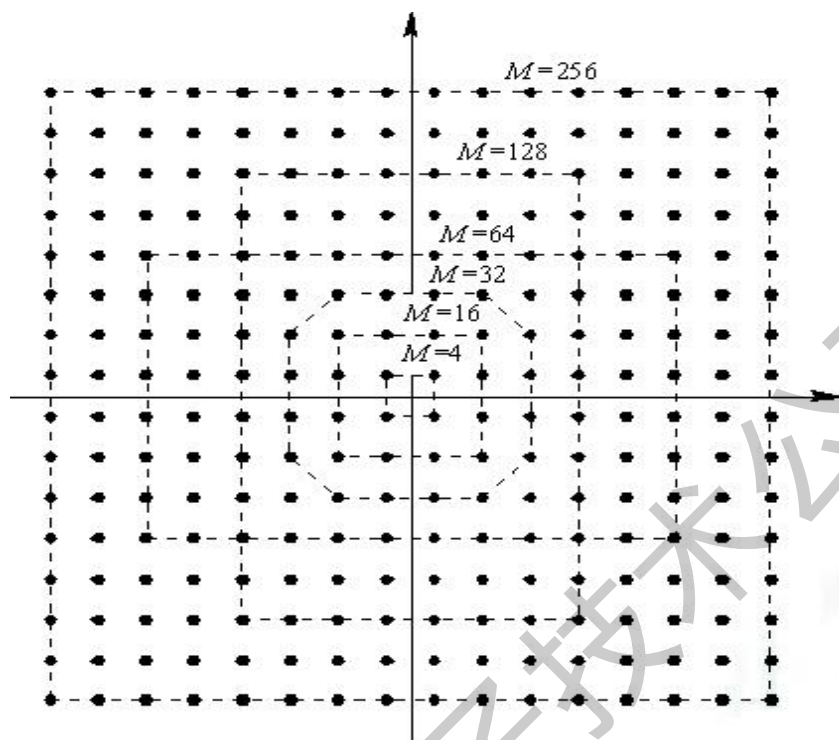
其中， $i, j=1, 2, \dots, L$ ，当 $L=1$ 时，是4QAM信号；当 $L=2$ 时，是16QAM信号；当 $L=4$ 时，是64QAM信号。选择正交的基本信号为

$$\begin{cases} \varphi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_B}} \cos \omega_c t \\ \varphi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_B}} \sin \omega_c t \end{cases} \quad (3)$$

在信号空间中 MQAM 信号点

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} A_i \\ B_j \end{pmatrix} \quad (i, j=1, 2, \dots, L) \quad (4)$$

下图是 MQAM 的星座图，这是一种矩形的 MQAM 星座图。



MQAM 信号星座图

(2) 2/4 电平转换

对于 2/4 电平的转换，其实是将输入信号的 4 种状态 (00,01,10,11) 经过编码以后变为相应的 4 电平信号。这里我们选择的映射关系如下表所示：

映射前数据	电平/V
00	1
01	3
10	-1
11	-3

2/4 电平映射关系表

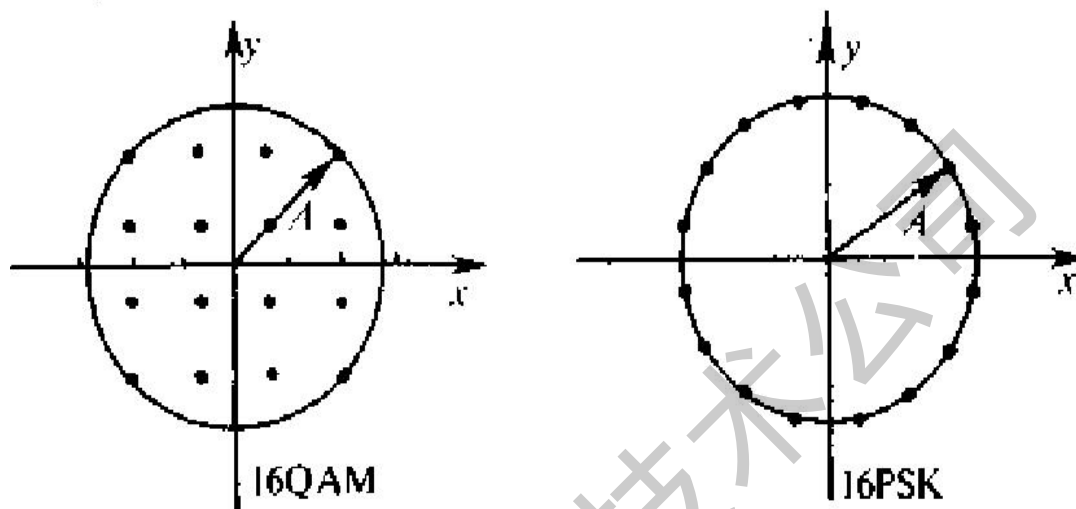
(3) 抗干扰能力

为了说明 MQAM 比 MPSK 具有更好的抗干扰能力，下图示出了 16PSK 和 16QAM 的星座图，这两个星座图表示的信号最大功率相等，相邻信号点的距离 d_1 , d_2 分别为：

$$2DPSK \quad d_1 \approx 2A \sin \frac{\pi}{16} = 0.39A, \quad 16QAM \quad d_2 \approx \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{M}-1} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{16}-1} = 0.47A。$$

结果表明， $d_2 > d_1$ ，大约超过 1.64dB。合理地比较两星座图的最小空间距离应该是以平均功率相等为条件。可以证明，在平均功率相等条件下，16QAM 的相邻信号距离超过 16PSK

约 4.19dB。星座图中，两个信号点距离越大，在噪声干扰使信号图模糊的情况下，要求分开两个可能信号点越容易办到。因此 16QAM 方式抗噪声干扰能力优于 16PSK。



16QAM 与 16PSK 星座图

MQAM 的星座图除正方形外，还有圆形、三角形、矩形、六角形等。星座图的形式不同，信号点在空间距离也不同，误码性能也不同。MQAM 和 MPSK 在相同信号点数时，功率谱相同，带宽均为基带信号带宽的 2 倍。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 16QAM 调制

概述：本项目是观测 16QAM 调制信号的时域或频域波形，了解调制信号产生机理及成形波形的星座图。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	信号输入
信号源：CLK	模块 10：TH1(BSIN)	时钟输入

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【16QAM 调制及解调】。再选择主控模块的【功能 1】，设置数字信号源，使 PN 输出码型为【PN127】。此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz，载频为 256KHz。

5、实验操作及波形观测。

(1) 选择主菜单【16QAM 调制及解调】【星座图观测】，此时 10 号模块 TH7(I-Out)和 TH9(Q-Out)分别为 16QAM 调制中 I、Q 两路成形信号。调用一个示波器探头 CH1 接 10 号模块 TH7(I-Out)，CH2 接 10 号模块 TH9(Q-Out)，调节示波器为 XY 模式，观察 16QAM 星座图。

注：由于矢量星座图的形成跟 I、Q 两路成形信号有关，也就是说矢量星座图与输入端 PN 序列的码元情况相关。在实验观察中，如果选择 127 位的 PN 序列作为输入信号，则可以明显看到完整的含有 16 个相位点的星座图；如果选择 15 位的 PN 序列作为输入信号，则星座图中某个相位点缺失了。所以，建议设置主控模块的数字信号源 PN 输出码型，选择【PN127】进行星座图观测实验。因采样率过低，会影响星座图的显示效果，建议时基为 2.5ms/格。

(2) 选择主菜单【16QAM 调制及解调】【I 路调制信号观测】，此时 10 号模块 TH7(I-Out)为 I 路成形信号经 256KHz 载波相乘后输出调制波形。用示波器探头 CH1 接 10 号模块 TH7(I-Out)，观测 I 路调制波形。

(3) 选择主菜单【16QAM 调制及解调】【Q 路调制信号观测】，此时 10 号模块 TH7(I-Out)为 Q 路成形信号经 256KHz 载波相乘后的输出调制波形。用示波器探头 CH1 接 10 号模块 TH7(I-Out)，观测 Q 路调制波形。

(4) 选择主菜单【16QAM 调制及解调】【软调制及解调】，此时 10 号模块 TH7(I-Out)为 I、Q 两路调制信号叠加后输出的 16QAM 调制波形。用示波器探头 CH1 接 10 号模块 TH7(I-Out)，观测 16QAM 调制波形。

任务二 16QAM 相干解调

概述：本项目是对比观测 16QAM 解调信号和原始基带信号的波形，了解 16QAM 相干解调的实现方法。

1、关闭仿真，保持任务一中的连线不变，继续按表格所示进行以下连线。

源端口	目的端口	连线说明
模块 10: TH7(I-Out)	模块 11: TH2(AD 输入 1)	已调信号送入解调端
模块 10: TH9(Q-Out)	模块 11: TH3(AD 输入 2)	提供载波

2、运行仿真，设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【16QAM 调制及解调】→【软调制及解调】。

3、此时系统初始状态为：PN 序列输出频率 16KHz，载频为 256KHz。

4、实验操作及波形观测。

(1) 调用示波器观测 10 号模块 TH3(DIN1)，CH2 接 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测原始基带信号和解调输出信号的波形。

(2) 调用示波器观测 11 号模块 TP9(DA 输出 2)和 11 号模块 TP10(DA 输出 3)，观测恢复的 I 路成形信号与 Q 路成形信号的波形。调节示波器为 XY 模式，观测恢复后 IQ 相位星座图。此时 11 号模块的“复位开关”按键能将解调载波与调制载波相位关系设置两种不同状态：一种是载波同频同相状态，另一种是载波相位有一定偏差状态。通过按键切换这两种状态，再对比观测恢复端的星座图变化情况，并对比观测恢复信号和原始信号的码型等。

思考：QAM 调制相对于传统的 PSK 调制有什么优势？

在相移键控(PSK)技术中，通过改变载波信号的相位来表示二进制数 0、1，而相位改变的同时，最大振幅和频率则保持不变。

QAM 是幅度、相位联合调制的技术，它同时利用了载波的幅度和相位来传递信息比特，因此在最小距离相同的条件下可实现更高的频带利用率，目前 QAM 最高已达到 1024QAM (1024 个样点)。样点数目越多，其传输效率越高，例如具有 16 个样点的 16-QAM 信号，每个样点表示一种矢量状态。

五、实验报告

1、分析实验电路的工作原理，简述其工作过程，并截图验证。

2、观测并分析实验过程中的实验现象。

第二章 扩频技术

实验九 m 序列产生及特性分析实验

一、实验目的

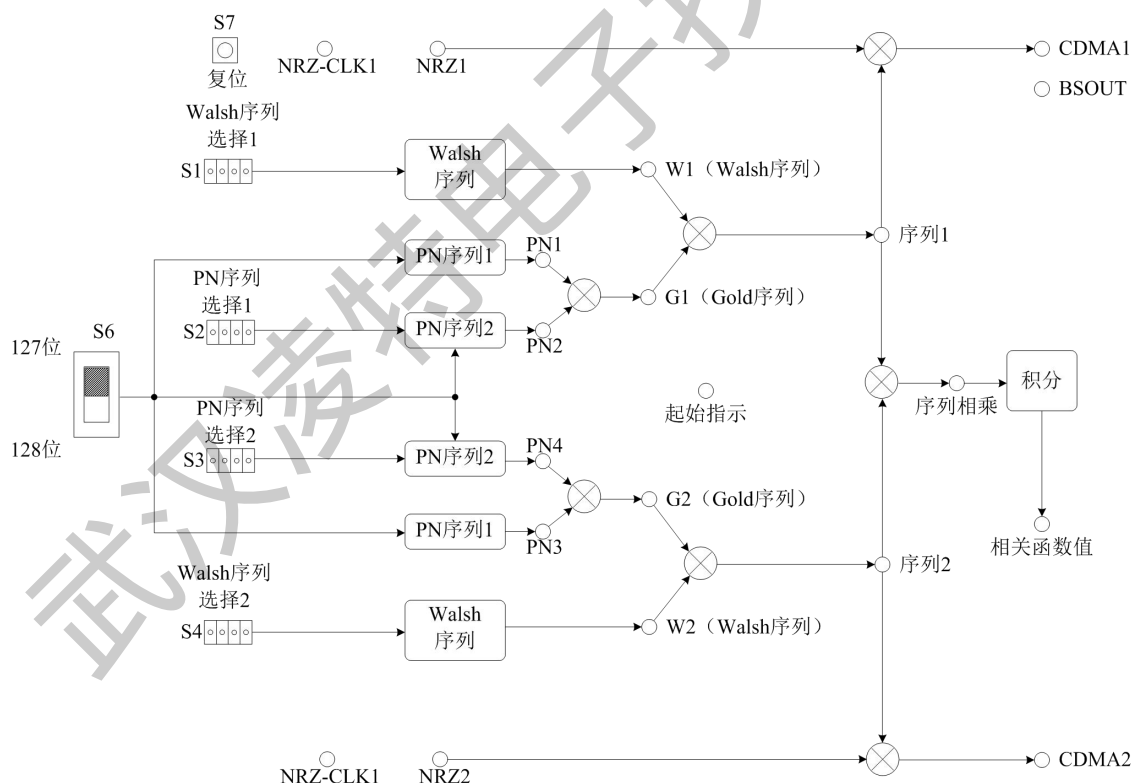
- 1、了解 m 序列的特性及产生。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 14 号 CDMA 扩频模块
- 3、 示波器

三、实验原理

- 1、 14 号模块的框图



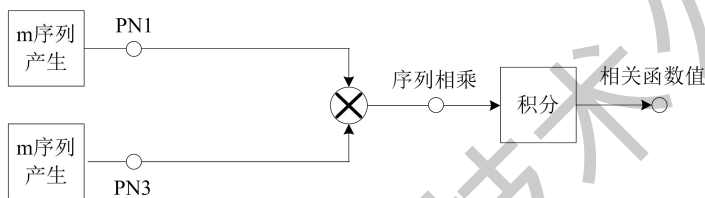
14号模块框图

- 2、 14号模块框图说明 (m序列)

该模块提供了四路速率为 512K 的 m 序列，测试点分别为 PN1、PN2、PN3、PN4。其中，

PN2 和 PN4 分别由 PN 序列选择开关 S2、S3 控制；不同的开关码值，可以设置 m 序列码元的不同偏移量。开关 S6 是 PN 序列长度设置开关，可选 127 位或 128 位，其中 127 位是 PN 序列原始码长，128 位是在原始码元的连 6 个 0 之后增加一个 0 得到。Gold 序列测试点为 G1 和 G2，其中 G1 由 PN1 和 PN2 合成，G2 由 PN3 和 PN4 合成。拨码开关 S1 和 S4 是分别设置 W1 和 W2 产生不同的 Walsh 序列。实验中还可以观察不同 m 序列（或 Gold 序列）和 Walsh 序列的合成波形。注意，每次设置拨码开关后，必须按复位键 S7。

3、实验原理框图



m 序列相关性实验框图

为方便序列特性观察，本实验中将 Walsh 序列码型设置开关 S1 和 S4 固定设置为某一种。

4、实验框图说明

m 序列的自相关函数为

$$R(\tau) = A - D$$

式中，A 为对应位码元相同的数目；D 为对应位码元不同的数目。

自相关系数为

$$\rho(\tau) = \frac{A - D}{P} = \frac{A - D}{A + D}$$

对于 m 序列，其码长为 $P=2^n-1$ ，在这里 P 也等于码序列中的码元数，即“0”和“1”个数的总和。其中“0”的个数因为去掉移位寄存器的全“0”状态，所以 A 值为

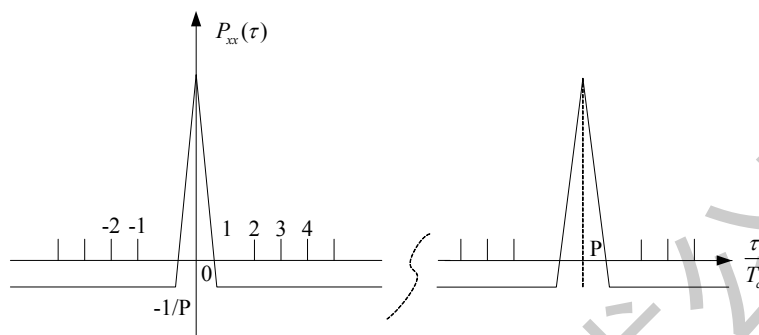
$$A = 2^{n-1} - 1$$

“1”的个数（即不同位）D 为

$$D = 2^{n-1}$$

m 序列的自相关系数为

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 & \tau = 0 \\ -\frac{1}{p} & \tau \neq 0, \tau = 1, 2, \dots, p-1 \end{cases}$$



m 序列的自相关函数

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、调用示波器观测测试点 PN1 或 PN3。
- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【移动通信】→【m 序列产生及特性】。
- 5、将 14 号模块的拨码开关 S1、S2、S3、S4 全拨为“0000”。将开关 S6 拨至“127 位”，设置 PN 序列长度为 127 位。按复位开关 S7。
- 6、开启示波器并调节相应旋钮，观察此时 PN1 或 PN3 输出的 m 序列。
- 7、再将示波器的 2 通道接 TH9（相关函数值）测试点，观察相关峰，了解 m 序列自相关特性。

思考：M 序列有什么特点？

- 1) M 序列作为 CDMA 系统中采用的最基本的伪随机 PN 序列，它的 0 和 1 的个数接近相等。
- 2) 自相关性能好，可以有利于接收时的截获和跟踪。
- 3) 易于产生和复制。



五、实验报告

- 1、整理实验数据，记录实验波形和现象。

武汉凌特电子科技有限公司

实验十 Gold 序列产生及特性分析实验

一、实验目的

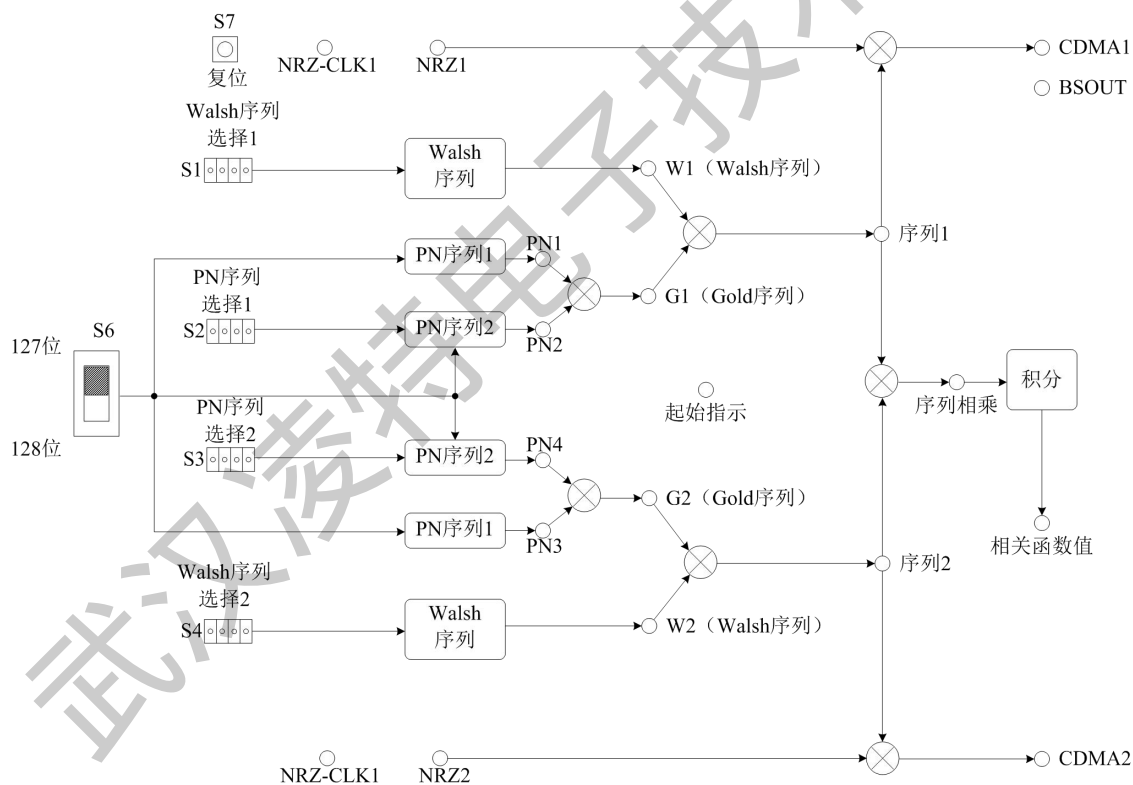
- 1、了解 Gold 序列的特性及其产生。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 14 号 CDMA 扩频模块
- 3、 示波器

三、实验原理

- 1、 14 号模块的框图



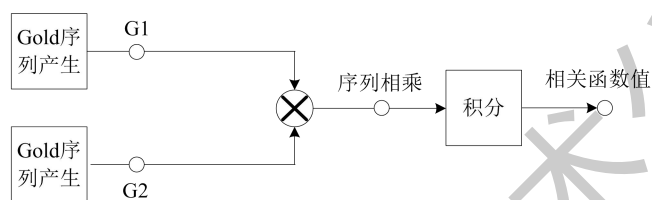
14号模块框图

- 2、 14号模块框图说明 (Gold序列)

该模块提供了四路速率为 512K 的 m 序列，测试点分别为 PN1、PN2、PN3、PN4。其中，PN2 和 PN4 分别由 PN 序列选择开关 S2、S3 控制；不同的开关码值，可以设置 m 序列码元的

不同偏移量。开关 S6 是 PN 序列长度设置开关，可选 127 位或 128 位，其中 127 位时 PN 序列原始码长，128 位是在原始码元的连 6 个 0 之后增加一个 0 得到。Gold 序列测试点为 G1 和 G2，其中 G1 由 PN1 和 PN2 合成，G2 由 PN3 和 PN4 合成。拨码开关 S1 和 S4 是分别设置 W1 和 W2 产生不同的 Walsh 序列。实验中还可以观察不同 m 序列（或 Gold 序列）和 Walsh 序列的合成波形。注意，每次设置拨码开关后，必须按复位键 S7。

3、实验原理框图



Gold 序列相关特性实验框图

4、实验框图说明

虽然 m 序列有优良的自相关特性，但是使用 m 序列作 CDMA（码分多址）通信的地址码时，其主要问题是由 m 序列组成的互相关特性好的互为优选的序列集很少，对于多址应用来说，可用的地址数太少了。而 Gold 序列具有良好的自、互相关特性，且地址数远远大于 m 序列的地址数，结构简单，易于实现，在工程上得到了广泛的应用。

Gold 序列是 m 序列的复合码，它是由两个码长相等、码时钟速率相同的 m 序列优选对模二和构成的。其中 m 序列优选对是指在 m 序列集中，其互相关函数最大值的绝对值最接近或达到互相关值下限（最小值）的一对 m 序列。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、调用示波器观测测试点 G1(Gold 序列)和 G2(Gold 序列)。
- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【移动通信】→【Gold 序列产生及特性】。
- 5、将 14 号模块的拨码开关 S1、S4 全拨为“0000”。将开关 S6 拨至“127 位”，设置 PN

序列长度为 127 位。

6、设置 S2 为 0001，使 G1 输出一种 Gold 序列。设置 S3 为 0001，使 G2 输出 Gold 序列与 G1 相同。按复位开关 S7。

7、调节示波器相关旋钮，观察此时两路 Gold 序列的波形。

8、调用示波器观测 TH9（相关函数值）测试点，了解 GOLD 序列自相关特性。

9、然后设置 S2 为 0001，使 G1 输出一种 Gold 序列。设置 S3 为 0010，使 G2 输出 Gold 序列与 G1 不相同。按复位开关 S7。

10、观测 TH9（相关函数值）测试点波形，了解 GOLD 序列互相关特性。

思考：对比 m 序列的相关特性波形，思考两种序列的优劣。

对比观测可以看出 Gold 序列的自相关特性稍差于 m 序列的自相关特性，但是互相关特性却有很大的提升，并且 Gold 序列是 m 序列的复合码，可用地址数更多，实现起来简便，应用更为广泛。

11、自行设置开关 S2 和 S3 的拨码改变 G1 和 G2 输出波形，参照上述步骤，观察 Gold 序列波形以及波形之间的相关特性。

五、实验报告

1、整理实验数据，记录实验波形和现象。

实验十一 Walsh 序列产生及特性分析实验

一、实验目的

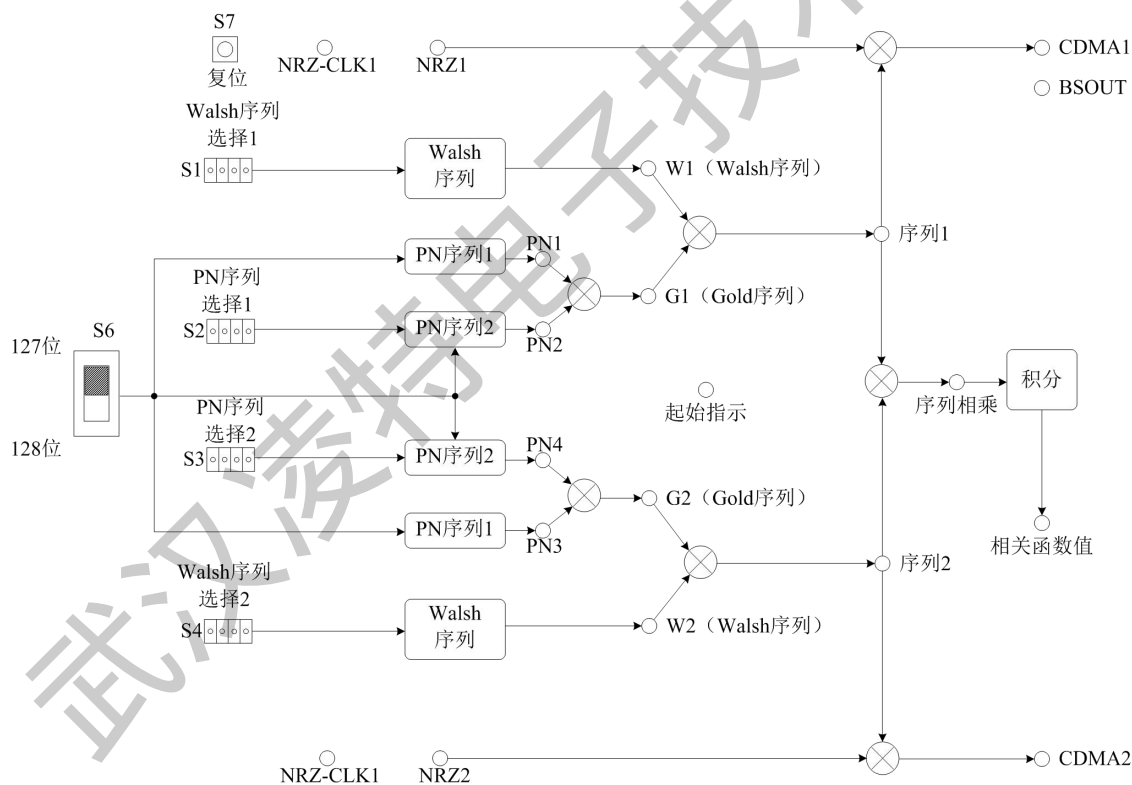
- 1、了解 Walsh 序列的特性及其产生。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 14 号 CDMA 扩频模块
- 3、 示波器

三、实验原理

- 1、 14 号模块的框图



14号模块框图

- 2、 14号模块框图说明 (Walsh序列)

该模块提供了四路速率为 512K 的 m 序列，测试点分别为 PN1、PN2、PN3、PN4。其中，PN2 和 PN4 分别由 PN 序列选择开关 S2、S3 控制；不同的开关码值，可以设置 m 序列码元的

不同偏移量。开关 S6 是 PN 序列长度设置开关，可选 127 位或 128 位，其中 127 位时 PN 序列原始码长，128 位是在原始码元的连 6 个 0 之后增加一个 0 得到。Gold 序列测试点为 G1 和 G2，其中 G1 由 PN1 和 PN2 合成，G2 由 PN3 和 PN4 合成。拨码开关 S1 和 S4 是分别设置 W1 和 W2 产生不同的 Walsh 序列。实验中还可以观察不同 m 序列（或 Gold 序列）和 Walsh 序列的合成波形。注意，每次设置拨码开关后，必须按复位键 S7。

3、原理说明

Walsh 序列是正交的扩频序列，是根据 Walsh 函数集而产生。Walsh 函数的取值为+1 或者-1。

Walsh 函数集的特点是正交和归一化，正交是同阶不同的 Walsh 函数相乘，在指定的区间积分，其结果为 0；归一化是两个相同的 Walsh 函数相乘，在指定的区间上积分，其平均值为 1。

Walsh 函数的自相关特性并不理想，但是互相关特性很好，为了改善自相关特性，实际系统中，序列经 Walsh 函数调制后，再与自相关特性好的 PN 序列进行扩频。由于 Walsh 函数之间的正交性，可以使用不同的 Walsh 序列对不同的信道进行调制，在接收端再用相同的 Walsh 序列提取信号，从而接收到所发送的信息。用这种方法，我们可以使多个信道在同一频率上发送而不会互相干扰，这也是码分多址得以实现的基础。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。

2、调用示波器观测测试点 W1(Walsh 序列)和 W2(Walsh 序列)。

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【移动通信】→【Walsh 序列产生及特性】。

5、将 14 号模块的拨码开关 S2、S3 全拨为“0000”，使 G1 和 G2 一致。

6、设置 S1 为 0001，使 W1 输出一种 Walsh 序列。设置 S4 为 0001，使 W2 输出 Walsh 序列与 W1 相同。按复位开关 S7。

7、调节示波器相关旋钮，观察此时两路 Walsh 序列的波形。

8、调用示波器观测 TH9（相关函数值）测试点，了解 Walsh 与 Gold 序列经模 2 加合成后的序列自相关特性。

9、然后设置 S1 为 0001，使 G1 输出一种 Walsh 序列。设置 S4 为 0010，使 W2 输出 Walsh 序列与 W1 不相同。按复位开关 S7。

10、再观测 TH9（相关函数值）测试点，了解 Walsh 与 Gold 序列经模 2 加合成后的序列互相关特性。

11、自行设置开关 S1 和 S4 的拨码改变 W1 和 W2 输出波形，参照上述步骤，观察不同的 Walsh 序列波形以及特性。

五、实验报告

1、整理实验数据，记录实验波形和现象。

实验十二 直接序列扩频实验

一、实验目的

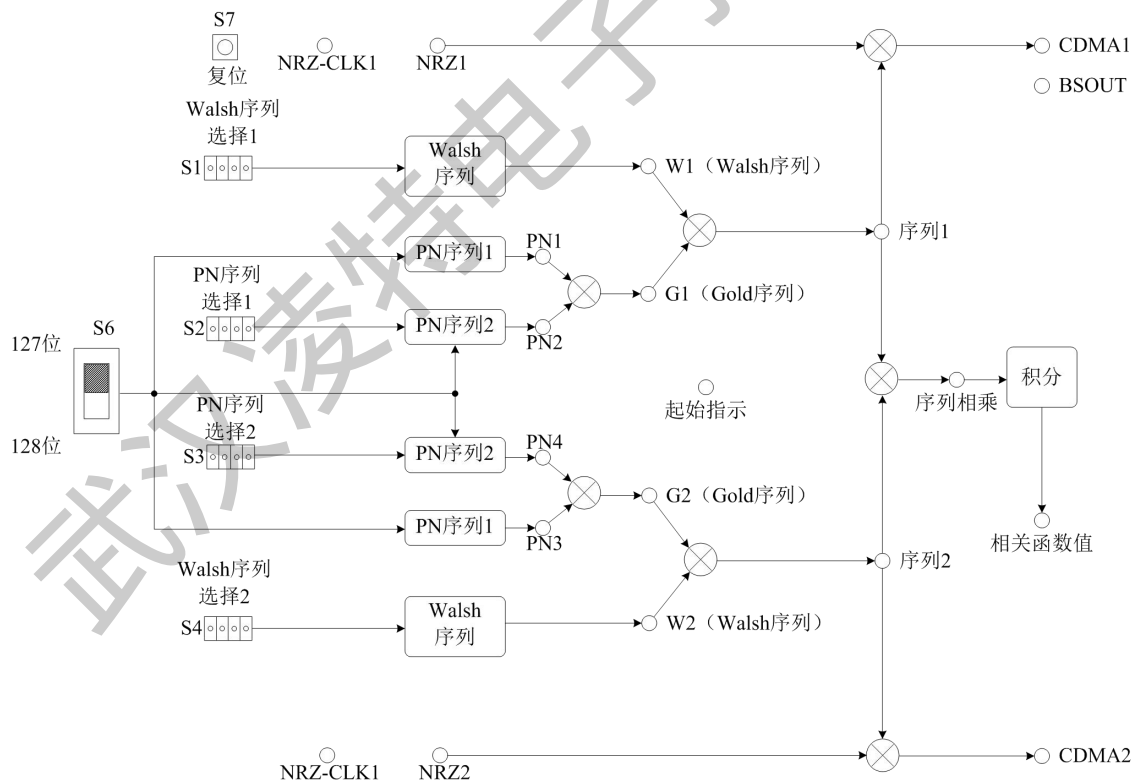
- 1、了解直接序列扩频原理和方法。
- 2、了解扩频前后信号在时域及频域上的变化。

二、实验模块

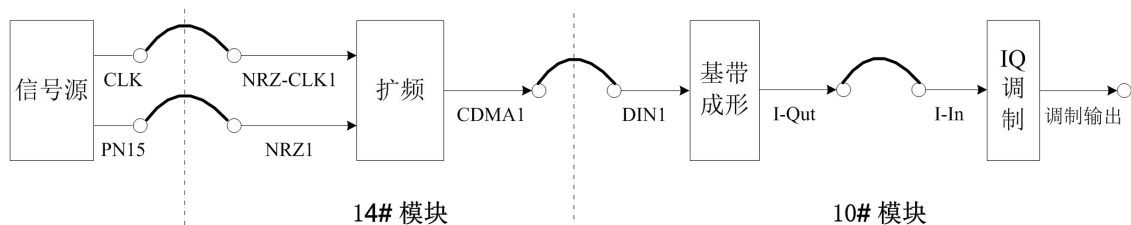
- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 14 号 CDMA 扩频模块
- 4、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



14号模块框图



直接序列扩频实验框图

2、实验框图说明

信号源 PN 序列经过 14 号模块扩频处理，再加到 10 号模块的调制端，形成扩频调制信号发送出去。其中，从 14 号模块可以看到扩频码可以通过拨码开关设置为 Walsh 序列、m 序列和 Gold 序列。

(1) PN 序列&Walsh 序列的产生。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。

模块端口名称、可调参数及说明如下所述：

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 序列的起始位置辅助观测点。
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。
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	模块电源开关

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按框图所示连线。

源端口	目标端口	连线说明
信号源: PN	模块 14: TH3(NRZ1)	数据送入扩频单元
信号源: CLK	模块 14: TH1(NRZ-CLK1)	时钟送入扩频单元
模块 14: TH4(CDMA1)	模块 10: TH3(DIN1)	扩频后加调制
模块 10: TH7 (I-Out)	模块 10: TH6 (I-In)	I 路成形信号加载频

- 3、调用示波器观测测试点 NRZ1 和 CDMA1。
- 4、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 5、设置主控菜单，选择【移动通信】→【直接序列扩频】。自行设置拨码开关 S1、S2、S3、S4 选择扩频码（比如，将 S1 设为 0000，S2 设为 0001），并按复位键 S7 进行确认。
- 6、调节示波器，对比观察扩频前 NRZ1 和扩频后 CDMA1 序列波形。

7、调用示波器观测 10 号模块“调制输出”，观察扩频序列经载波调制的输出波形以及频谱特性。

思考：序列经扩频后再调制输出的信号，与未经扩频而是直接调制输出的信号，其频谱特性有什么变化？扩频带来了什么影响？

从频域上来看，扩频后的再调制的信号频带宽度远大于未经扩频直接进行调制输出的信号。由香农公式 $C = W \times \log_2(1+S/N)$ 可知为了提高信息的传输速率 C ，可以从两种途径实现，即加大带宽 W 或提高信噪比 S/N 。换句话说，当信号的传输速率 C 一定时，信号带宽 W 和信噪比 S/N 是可以互换的，即增加信号带宽可以降低对信噪比的要求，当带宽增加到一定程度，允许信噪比进一步降低，有用信号功率接近噪声功率甚至淹没在噪声之下也是可能的。扩频通信就是用宽带传输技术来换取信噪比上的好处

五、实验报告

- 1、整理实验数据，记录实验波形和现象。

实验十三 直接序列解扩实验

一、实验目的

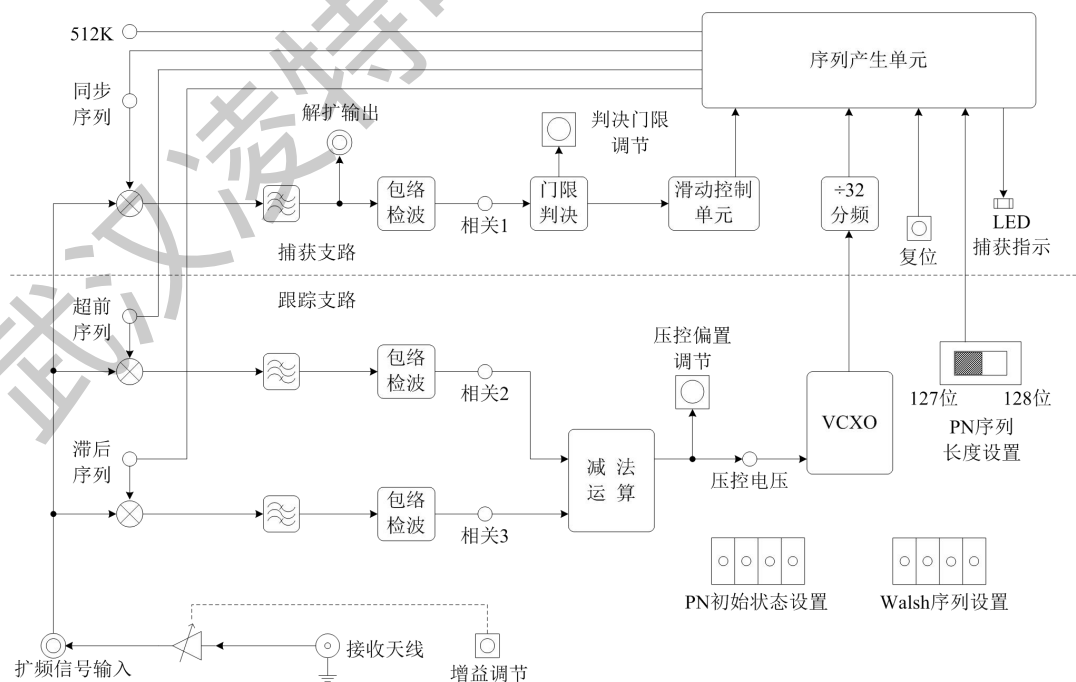
- 1、了解直接序列解扩原理和方法。
- 2、观察解扩时本地扩频码与扩频时扩频码的捕获、同步情况。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 14 号 CDMA 扩频模块
- 4、 15 号 CDMA 解扩模块
- 5、 11 号 软件无线电解调模块
- 6、 示波器

三、实验原理

- 1、扩频原理说明可参考直接序列扩频实验中的相关内容。
- 2、15 号模块框图



15 号模块框图

4、解扩实验框图说明

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。

模块包含如下 4 大功能：

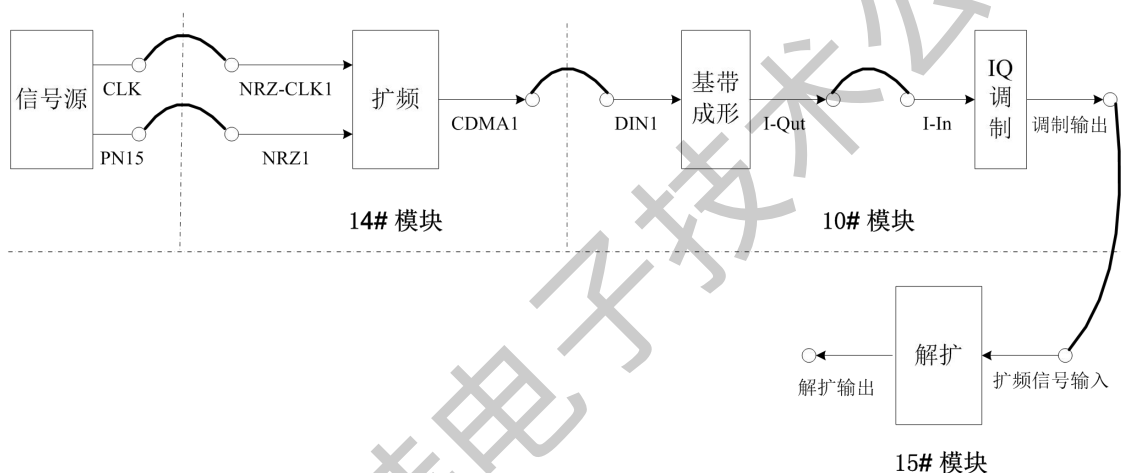
- (1) 捕获支路：用来捕获扩频序列，达到序列同步的状态。
- (2) 跟踪支路：用来进行时钟同步。
- (3) 序列产生单元：产生解扩序列，序列产生可受滑动控制单元控制，是序列相位滑动。
- (4) 滑动控制单元：产生序列的滑动控制脉冲信号。该脉冲信号由前面的门限判决信号控制，当门限判决输出为高时，说明序列已经捕获，滑动控制单元停止产生滑动控制脉冲信号；当门限判决输出为低时，说明序列未捕获，滑动控制单元产生滑动控制脉冲信号。

模块端口名称、可调参数及说明如下所述：

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 BPSK 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 VCO 频率变化的信号

- (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。

5、直接序列解扩实验原理框图



四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按框图所示连线。

源端口	目标端口	连线说明
信号源：PN	模块 14：TH3(NRZ1)	数据送入扩频单元
信号源：CLK	模块 14：TH1(NRZ-CLK1)	时钟送入扩频单元
模块 14：TH4(CDMA1)	模块 10：TH3(DIN1)	扩频后加调制
模块 10：TH7 (I-Out)	模块 10：TH6 (I-In)	I 路成形信号加载频

模块 10: P1(调制输出)

模块 15: J4(扩频信号输入)

送入解扩单元

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【移动通信】→【直接序列扩频及解扩】。

5、调用示波器观测 14 号模块“起始指示”和 14 号模块“序列 1”。这里“起始指示”作为辅助测试点，方便示波器中稳定显示扩频序列。

6、调用示波器观测 14 号模块“起始指示”和 15 号模块“同步序列”。

7、调用示波器观测 15 号模块“相关 1”

8、先设置 14 号模块和 15 号模块上的拨码开关，是扩频端的扩频序列和解扩端的解扩序列一致。例如，14 号模块开关 S1=0000，S2=0001，按 14 号模块的复位键进行确认；15 号模块开关 S1=0001，S4=0000，按 15 号模块的复位键进行确认。

9、先将 15 号模块的判决门限调节旋钮 W2 逆时针到底，增益调节旋钮 W1 调至适当的位置。调节示波器，观察“相关 1”输出的序列相关特性峰值情况。记录此时 15 号模块的捕获指示灯的亮灭情况。观察此时“序列 1”和“同步序列”的序列波形以及波形之间是否相对滑动。

10、顺时针缓慢调节 15 号模块的门限调节旋钮 W2，注意“序列 1”和“同步序列”相对“起始指示”位置关系，使二者同步。记录此时指示灯亮灭情况。观察此时“相关 1”输出情况。

11、自行设置扩频码和解扩码的相关拨码开关，使二者序列不相同，再观察扩频解扩模块中各测试点波形变化情况。

12、自行设计观测方法，观察 15 号模块中“超前序列”、“滞后序列”、“相关 2”、“相关 3”等测试点，了解 CDMA 解扩中超前滞后锁相环的作用。

五、实验报告

1、整理实验数据，记录实验波形和现象。

第四章 抗衰落技术

实验十四 线性分组码实验

一、实验目的

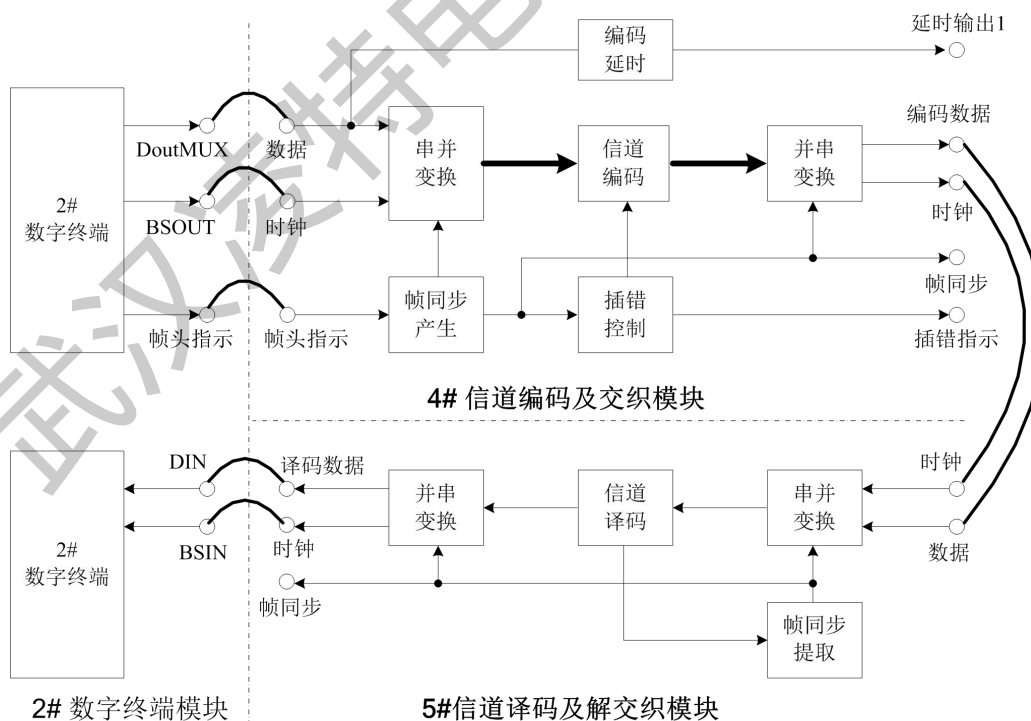
- 1、了解线性分组码在通信系统中的意义。
- 2、掌握汉明码编译码及其检错纠错原理，理解编码码距的意义。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 2号 数据终端模块
- 3、 4号 信道编码模块
- 4、 5号 信道译码模块
- 5、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



汉明码编译码实验框图

2、实验框图说明

汉明码编码过程：数字终端的信号经过串并变换后，数据进行了分组，分组后的数据再经过汉明码编码，数据由 4bit 变为 7bit。

注：为方便对编码前后的数据进行对比观测，本实验中加入了帧头指示信号。帧头指示信号仅用于线性分组码编码时将输入信号的比特流进行分组，其上跳沿指示了分组的起始位置。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 汉明码编码规则验证

概述：本项目通过改变输入数字信号的码型，观测延时输出，编码输出及译码输出，验证汉明码编译码规则。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
模块 2: TH1(DoutMUX)	模块 4: TH1(编码输入-数据)	编码信号输入
模块 2: TH9(BSOUT)	模块 4: TH2(编码输入-时钟)	提供编码位时钟
模块 2: TH10(辅助观测帧头指示)	模块 4: TH3(辅助观测-帧头指示)	编码帧头指示
模块 4: TH4(编码输出-编码数据)	模块 5: TH1(译码输入-数据)	将数据送入译码
模块 4: TH5(编码输出-时钟)	模块 5: TH2(译码输入-时钟)	提供译码时钟
模块 4: TH6(延时输出 1)	模块 5: TH7(辅助观测-NRZD-IN)	延时输出

3、调用示波器观测 2 号模块的 DoutMUX 和 4 号模块的编码输出 TH4 编码数据，即对比观测编码前后的码元。

4、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

5、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【线性分组码实验】→【无误码】。

将 2 号模块的拨码开关 S1^{2#}拨为 10100000，拨码开关 S2^{2#}、S3^{2#}、S4^{2#}均拨为 00000000；

3、此时系统初始状态为：2 号模块提供 32K 编码输入数据，4 号模块进行汉明码编码，无差错插入模式，5 号模块进行汉明码译码。

4、实验操作及波形观测。

设置 2 号模块拨码开关 S1 前四位，观测编码输出并填入下表中：

输入	编码输出	输入	编码输出
$a_6 a_5 a_4 a_3$	$a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0$	$a_6 a_5 a_4 a_3$	$a_6 a_5 a_4 a_3 a_2 a_1 a_0$
0000		1000	
0001		1001	
0010		1010	
0011		1011	
0100		1100	
0101		1101	
0110		1110	
0111		1111	

任务二 汉明码检纠错性能检验

概述：本项目通过插入不同个数的错误，观测译码结果与输入信号验证汉明码的检纠错能力。

1、保持任务一中的连线。

2、在主控模块中，选择【插入 1 个误码】。

3、对比观测译码结果与输入信号，验证汉明码的纠错能力。

4、对比观测插错指示与误码指示，验证汉明码的检错能力。

5、在主控模块中，选择逐一选择其他插入误码模式，如【插入 2 个误码】、【插入 3 个误码模式一】、【插入 3 个误码模式二】。重复以上观测，验证汉明码的检纠错能力。

6、将示波器触发源通道(CH1)接 4 号模块的 TP1 帧同步信号，示波器另外一个通道(CH2)接 TP2 插错指示，可以观测插错的位置。

五、实验报告

- 1、根据实验测试记录，完成实验表格；
- 2、分析实验电路的工作原理，简述其工作过程；
- 3、分析汉明码实现检错及纠错的原理。

武汉凌特电子技术公司

实验十五 卷积码实验

一、实验目的

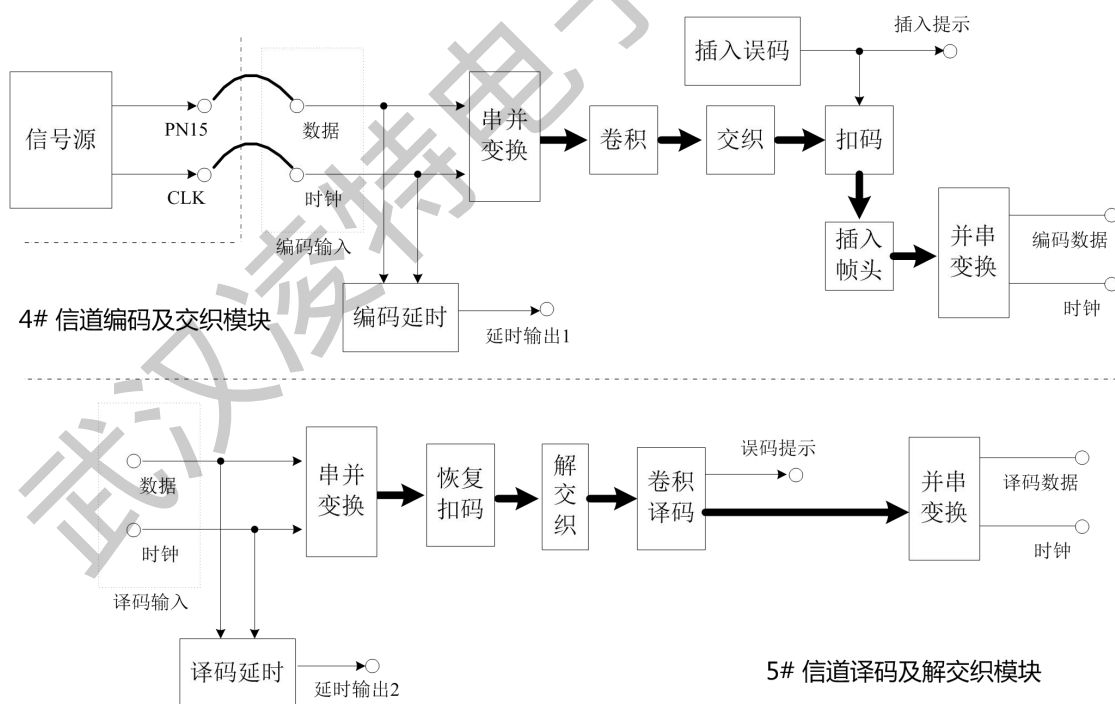
- 1、了解信道编码在通信系统中的重要性；
- 2、掌握卷积码编译码的原理；

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 4 号 信道编码模块
- 3、 5 号 信道译码模块
- 4、 2 号 数据终端模块
- 5、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



卷积码实验框图

2、实验框图说明

卷积编码：卷积编码并没有分组成帧的概念。但由于当卷积编码长度增加时，译码的运

算量成几何量增加。因此，我们需要对卷积码规定一个帧长度。这里我们规定的帧长度为248bit。为了方便找到帧头，因此，在每一帧的最前面加入11位的巴克码作为帧同步码（最前面还添加了一个0）。248bit经卷积编码后是504bit，加上帧同步码及前面的0，共516bit。这样在速率上很难处理。所以我们需要扣码。扣码是利用了卷积码纠错能力强的特点，将编码后的504bit每隔25bit扣除一个码，共扣除20bit。这样最终成帧的长度是496bit，刚好是输入信号速率的2倍，这样时序上很容易处理。

卷积译码：首先，要进行帧同步提取。提取到帧同步后，将每一帧数据缓存后进行处理。当缓存1帧数据后，由于编码时进行了扣码，所以这里需要恢复扣码。将484bit每25bit插入1个0，然后再进行维特比译码。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 卷积码编码规则验证

概述：本项目通过观察并记录编码输入与输出波形，验证卷积码编码规则。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：CLK	模块 4：TH2(编码输入-时钟)	提供编码位时钟
信号源：PN	模块 4：TH1(编码输入-数据)	编码信号输入

3、调用示波器观测信号源模块的“PN”和4号模块的编码输出“编码数据 TH4”，即观测原始码元和卷积编码输出信号。

4、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

5、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【卷积码实验】。在“卷积及交织误码设置”界面中，先选择【无误码】。此时系统初始状态为：编码输入 8K 数据，进行卷积编码，无差错插入模式。

6、观察原始码元和卷积编码输出码元。

任务二 卷积码检纠错性能检验

概述：本项目通过插入不同个数不同位置的误码，观察译码结果与输入信号验证卷积码的检纠错能力。

1、关闭仿真，保持任务一连线不变，继续按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
模块 4：TH4(编码输出-编码数据)	模块 5：TH1(译码输入-数据)	送入译码
模块 4：TH5(编码输出-时钟)	模块 5：TH2(译码输入-时钟)	译码时钟
模块 4：TH6(辅助观测-延时输出 1)	模块 5：TH7(辅助观测-NRZD-IN)	延时观测

（注：模块 4 的延时输出 1 和模块 5 的延时输出 2 都是辅助观测点，延时时长分别是编码所需时间和译码所需时间。）

2、调用示波器观测信号源模块的“PN”和 5 号模块的译码输出“译码数据 TH3”，即观测原始码元和卷积译码输出信号。

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【卷积码实验】。在“卷积及交织误码设置”界面中，先选择【无误码】。此时系统初始状态为：输入数据为 8K，通过模块 4 进行卷积编码，再经过模块 5 完成卷积译码。

5、观察并记录原始码元和卷积译码恢复的码元，看是否一致。

6、调用示波器观测 4 号模块的“插错指示”和 5 号模块的“误码指示”。

7、进一步在主控模块中进行误码设置，分别选择【随机错】、【突发错】两种情况。观测插错指示和误码指示情况。并对比译码结果与输入信号，验证卷积码的纠错能力。

五、实验报告

1、观察和记录实验波形，验证卷积码检错及纠错能力。

2、简述卷积码在生活中的应用。

实验十六 交织技术实验

一、实验目的

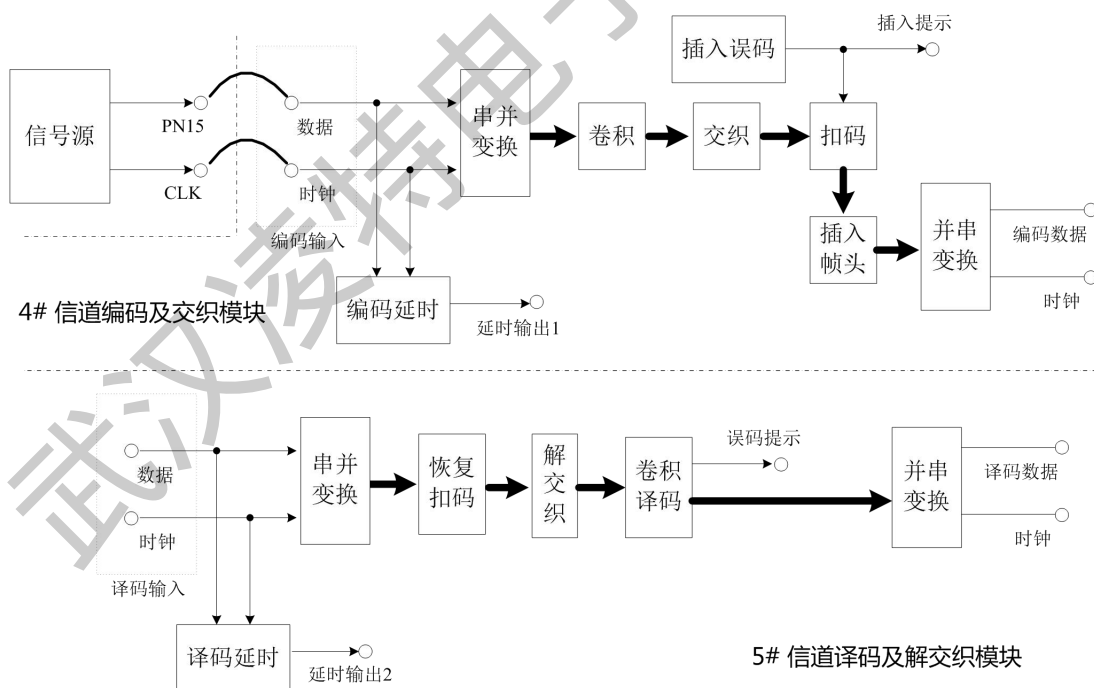
- 1、了解交织的特性；
- 2、掌握交织对译码性能的影响；

二、实验模块

- 1、主控单元模块
- 2、4号 信道编码模块
- 3、5号 信道译码模块
- 4、2号 数据终端模块
- 5、示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



卷积交织及解交织实验框图

2、实验框图说明

为了解决成串的比特差错问题，采用了交织技术：把一条消息中的相继比特分散开的方

法，即一条信息中的相继比特以非相继方式发送，这样即使在传输过程中发生了成串差错，恢复成一条相继比特串的消息时，差错也就变成单个（或者长度很短）的错误比特，这时再用信道纠正随机差错的编码技术消除随机差错。

3、卷积交织基本原理

实际信道中的突发错误往往是由脉冲干扰、多径衰落引起的，在统计上是相关的，所以一旦出现不能纠正的错误时，这种错误将连续存在。因此我们采用卷积交织来解决这种问题。它以一定规律扰乱源符号数据的时间顺序，使其相关性减弱，然后将其送入信道，解交织器按相反规律恢复出源符号数据。

交织由 $l=12$ (l 为交织深度)个分支构成。每个分支的延时逐渐递增，递增的单元数 $M=n/l=204/12=17$ (M 为交织基数)。这里的数据单位为字节。0支路无延时，1支路延时17个符号周期，11支路则延时 $l \times 11$ 个符号周期。输入端有一开关随着时间推移依次连接各个延时支路，输出端有一开关与输入端一一对应，同步连接各延时支路。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 卷积码编码及交织规则验证

概述：本项目通过观察并记录编码输入与卷积交织输出波形，验证卷积交织编码规则，并对比无交织编码结果验证交织规则。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：CLK	模块 4：TH2(编码输入-时钟)	提供编码位时钟
信号源：PN	模块 4：TH1(编码输入-数据)	编码信号输入

3、调用示波器观测信号源模块的“PN”和 4 号模块的编码输出“编码数据 TH4”，即观测原始码元和卷积编码及交织的输出信号。

- 4、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

5、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【交织技术实验】。在“卷积及交织误码”界面中，先选择【无误码】。此时系统初始状态为：编码输入 8K 数据，进行卷积编码，无差错插入、有交织功能模式。

6、观察原始码元和卷积编码输出码元。

任务二 卷积及交织检纠错性能检验

概述：本项目通过插入不同种类不同个数的误码，观察译码结果与输入信号验证卷积交织的检纠错能力，并且对比无交织编码的检纠错能力，验证在突发错以及连续错中，交织与否对检纠错性能的影响。

1、关闭仿真，保持任务一连线不变，继续按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
模块 4: TH4(编码输出-编码数据)	模块 5: TH1(译码输入-数据)	送入译码
模块 4: TH5(编码输出-时钟)	模块 5: TH2(译码输入-时钟)	译码时钟
模块 4: TH6(辅助观测-延时输出 1)	模块 5: TH7(辅助观测-NRZD-IN)	延时观测

(注：模块 4 的延时输出 1 和模块 5 的延时输出 2 都是辅助观测点。)

2、调用示波器观测信号源模块的“PN”和 5 号模块的译码输出“译码数据 TH3”，即观测原始码元和卷积译码输出信号。

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【交织技术实验】。在“卷积及交织误码”界面中，先选择【无误码】。此时系统初始状态为：输入数据为 8K，通过模块 4 进行卷积编码及交织，再经过模块 5 完成卷积译码及解交织。

5、观察并记录原始码元和卷积译码恢复的码元，看是否一致。

6、调用示波器观测 4 号模块的“插错指示”和 5 号模块的“误码指示”。

7、进一步在主控模块中进行误码设置，分别选择【随机错】、【突发错】两种情况。观测插错指示和误码指示情况。并对比译码结果与输入信号，验证交织及解交织的纠错能力。

五、实验报告

1、分析交织对译码性能的影响。

2、想想交织技术在生活中的应用以及其优缺点。

武汉凌特电子技术公司

第五章 移动信道模拟技术

实验十七 白噪声信道模拟实验

一、实验目的

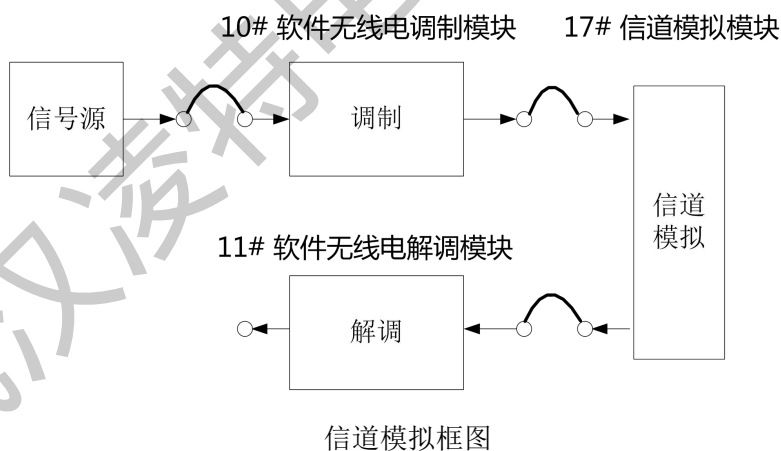
- 1、了解白噪声产生原因；
- 2、了解白噪声信道干扰对传输的影响和调制解调系统本身的传输性能。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 10 号 软件无线电调制模块
- 3、 11 号 软件无线电解调模块
- 4、 17 号 信道模拟模块
- 5、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



注：图中连线有所省略，具体参考实验步骤的内容。

2、实验原理框图

本实验是将信道模拟单元加入到调制解调系统中，观测干扰对信号传输的影响。

3、白噪声基本原理

白噪声（white noise）是指功率谱密度在整个频域内均匀分布的噪声。所有频率具有相

同能量密度的随机噪声称为白噪声。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	送入调制单元
信号源：CLK	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
模块 10：P1(调制输出)	模块 17：TP2(移动信道输入)	将调制信号送入信道模拟
模块 17：TP1(移动信道输出)	模块 11：P1(解调输入)	将调制信号送入解调单元

3、调用示波器观测信号源 PN 序列和 11 号模块 TH4(Dout)，用于对比观测原始信号和解调恢复信号的码型是否一致，观测白噪声对系统传输的影响。

4、调用示波器观测 17 号模块的 TP2(移动信道输入)和 TP1(移动信道输出)，用于对比观测调制信号和经过白噪声信道后的波形，了解白噪声对调制信号的影响。

5、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

6、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【白噪声信道模拟】。此时系统初始状态为：编码输入 16K 的 PN 序列，经 10 号模块 MSK 调制，17 号模块为白噪声信道模拟，11 号模块为 MSK 解调。

7、观察示波器中各测试点的波形。

8、调节 17 号模块的噪声幅度调节旋钮 W1 改变白噪声幅度，再观察白噪声对系统传输的影响。

五、实验报告

- 1、观测并分析实验现象及原因。

2、想想生活中有哪些噪声可以近似看做白噪声。

武汉凌特电子科技有限公司

实验十八 快衰落信道模拟实验

一、实验目的

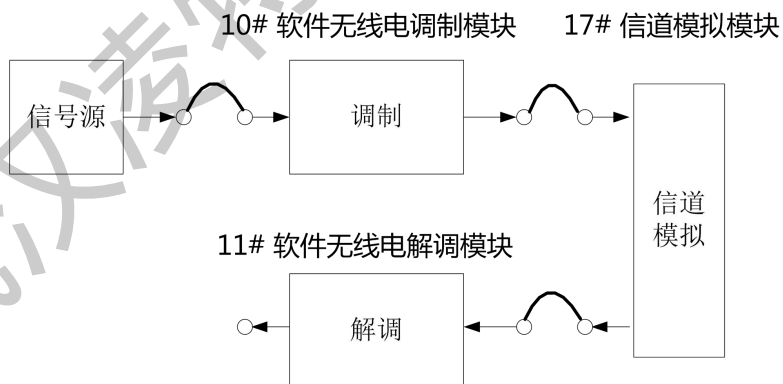
- 1、了解快衰落噪声产生原因。
- 2、了解快衰落信道干扰对传输的影响。

二、实验模块

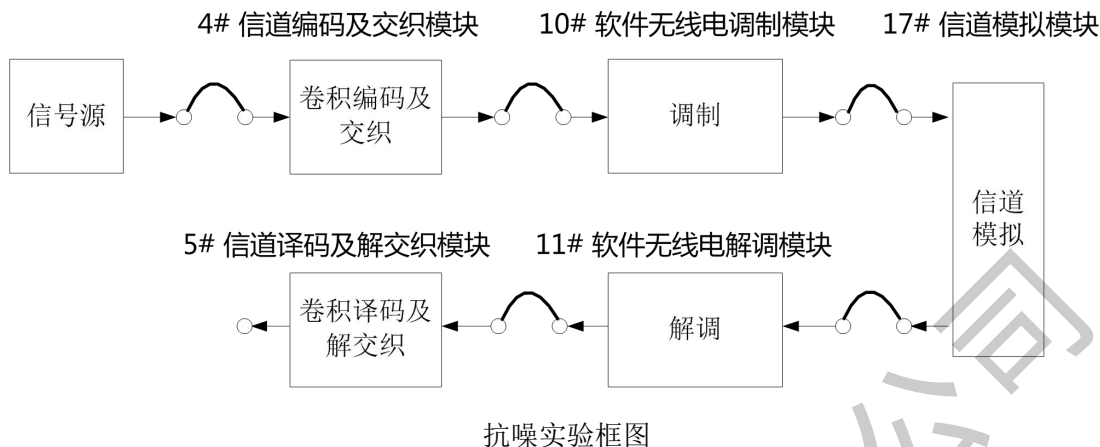
- 1、 主控单元模块
- 2、 2 号 数字终端&时分多址模块
- 3、 4 号 信道编码模块
- 4、 5 号 信道译码模块
- 5、 10 号 软件无线电调制模块
- 6、 11 号 软件无线电解调模块
- 7、 17 号 信道模拟模块
- 8、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



信道模拟框图



2、实验原理框图

本实验是将信道模拟单元加入到调制解调系统中，观测干扰对信号传输的影响。并将抗衰落技术融入到系统中，了解该技术的实际应用。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

任务一 观测快衰落信道对系统传输的影响

概述：本项目通过观察并对比加载快衰落噪声信道前后系统传输情况，了解快衰落信道对系统传输的影响以及系统本身的性能。

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、先按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	送入调制单元
信号源：CLK	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
模块 10：P1(调制输出)	模块 17：TP2(移动信道输入)	将调制信号送入信道模拟
模块 17：TP1(移动信道输出)	模块 11：P1(解调输入)	将调制信号送入解调单元

3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

4、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【快衰落信道模拟】。此时系统初始状态为：编码输入 16K 的 PN 序列，经 10 号模块 MSK 调制，17 号模块为快衰落信道模拟，11 号模块为 MSK 解调。

5、实验操作及波形观测。

(1) 以 17 号模块 TP3 辅助观测点为触发，调用示波器观测 TP3(辅助观测点)和 TP1(移动信道输出)，观测快衰落对调制信号的影响。

(2) 调用示波器观测 17 号模块的 TP2(移动信道输入)和 TP1(移动信道输出)，对比观测调制信号和经过快衰落信道后的波形。

(3) 调用示波器观测信号源 PN 序列和 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测此时原始信号和解调恢复信号的码型是否一致，了解快衰落对系统传输的影响。

任务二 抗噪实验

概述：本项目是将信道编码和信道译码融入到系统中，观测系统传输恢复情况，从而了解抗噪技术对系统传输的作用。

1、关闭仿真，重新按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 4：TH1(编码输入-数据)	将信号送入信道编码
信号源：CLK	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
模块 10：P1(调制输出)	模块 17：TP2(移动信道输入)	将调制信号送入信道模拟
模块 17：TP1(移动信道输出)	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

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【快衰落信道模拟】。按下【功能1】按键，设置 PN 输出频率：8K。按下【主菜单】按键，设置 4 号信道编码模块——卷积——无误码——有交织，设置 5 号信道译码模块——卷积——无误码——有交织。设置过程中可点击“返回”按键返回上一级菜单。

此时系统初始状态为：编码输入 8K 的 PN 序列，经 4 号模块卷积编码及交织，10 号模块 MSK 调制，17 号模块为快衰落信道模拟，11 号模块为 MSK 解调，最后 5 号模块卷积译码及解交织。

4、调用示波器观测信号源 PN 序列和 5 号模块 TH3(译码输出-译码数据)，对比观测此时原始信号和解调恢复信号的码型是否一致，如不一致，将 10 号模块的调制信号直接送到 11 号模块的解调输入，示波器对比观测 11 号模块的 TP4 与 TP5 解调端的两路 MSK 信号，调节 W1，对比观测此时原始信号和解调恢复信号的码型是否一致。然后再加入衰落信道，了解卷积交织功能对快衰落信道的抑制效果。

五、实验报告

- 1、分析实验工作原理，简述其工作过程。
- 2、观测并分析实验现象及原因。
- 3、对比分析白噪声和快衰落对信道的影响。

实验十九 慢衰落信道模拟实验

一、实验目的

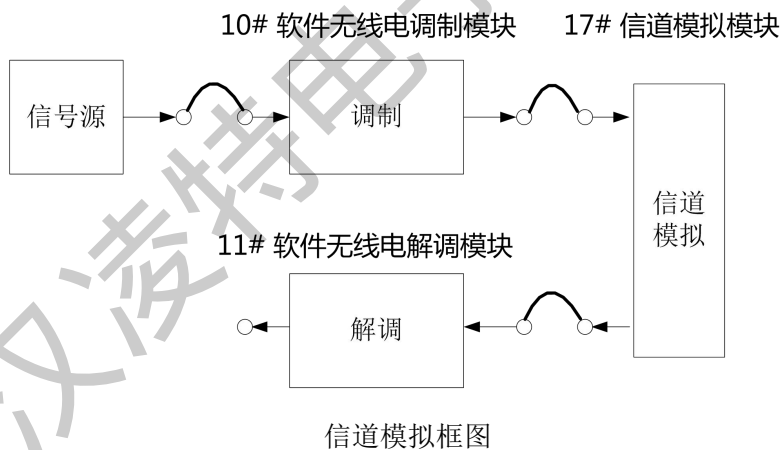
- 1、了解慢衰落噪声产生原因及类型；
- 2、了解慢衰落信道干扰对传输的影响。

二、实验模块

- 1、主控单元模块
- 2、10 号 软件无线电调制模块
- 3、11 号 软件无线电解调模块
- 4、17 号 信道模拟模块
- 5、示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



注：图中连线有所省略，具体参考实验步骤的内容。

2、实验原理框图

本实验是将信道模拟单元加入到调制解调系统中，观测干扰对信号传输的影响。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

实验项目 观测慢衰落信道对系统传输的影响

概述：本项目通过观察并对比加载慢衰落噪声信道前后系统传输情况，了解慢衰落信道对系统传输的影响以及系统本身的性能。

1、先按表格所示进行连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：PN	模块 10：TH3(DIN1)	送入调制单元
信号源：CLK	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
模块 10：P1(调制输出)	模块 17：TP2(移动信道输入)	将调制信号送入信道模拟
模块 17：TP1(移动信道输出)	模块 11：P1(解调输入)	将调制信号送入解调单元

2、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

3、设置主控菜单，选择【主菜单】→【移动通信】→【慢衰落信道模拟】。此时系统初始状态为：编码输入 16K 的 PN 序列，经 10 号模块 MSK 调制，17 号模块为慢衰落信道模拟，11 号模块为 MSK 解调。

4、实验操作及波形观测。

(1) 调用示波器观测 17 号模块 TP3(辅助观测点)和 TP1(移动信道输出)，观测慢衰落对调制信号的影响。

(2) 调用示波器观测 17 号模块的 TP2(移动信道输入)和 TP1(移动信道输出)，对比观测调制信号和经过慢衰落信道后的波形。

(3) 调用示波器观测信号源 PN 序列和 11 号模块 TH4(Dout)，对比观测此时原始信号和解调恢复信号的码型是否一致。

五、实验报告

1、分析实验工作原理，简述其工作过程。

2、观测并分析实验现象及原因。

第六章 通信系统实验 【暂未开放】

实验二十 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、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 4 号 信道编码模块
- 3、 5 号 信道译码模块
- 4、 10 号 软件无线电调制模块
- 5、 11 号 软件无线电解调模块
- 6、 示波器

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，发送部分是数字序列信号先经过4号模块进行卷积编码，然后通过10号模块的MSK/GMSK调制电路发送出去。接收部分是接收信号经过11号模块的MSK/GMSK解调单元，然后经过5号模块进行卷积译码，恢复出原始数字信号。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示，完成 GSM 通信系统连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源: PN	模块 4: TH1(编码输入-数据)	数字信号送入信道编码
信号源: CLK	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
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
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

3、调用示波器观测主控信号源模块的 PN 和 5 号模块的译码数据 TH3，即对比观测原始序列和经系统传输后的恢复序列。

4、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

5、设置系统主菜单，选择【移动通信】→【GSM 通信系统实验】。

6、设置主控模块【功能 1】，将 PN 输出速率设置为 8K。

7、记录示波器中的原始序列和恢复输出序列的波形。

8、自行调用示波器测量该通信传输系统的中间过程测试点。

五、实验报告

1、分析实验系统工作原理，简述其工作过程。

2、简述 GSM 系统在日常生活中的应用。

3、想一想为什么 GSM 系统中采用的是 GMSK 调制

实验二十一 TD/DS（时分加直扩）混合多址移动通信

一、实验目的

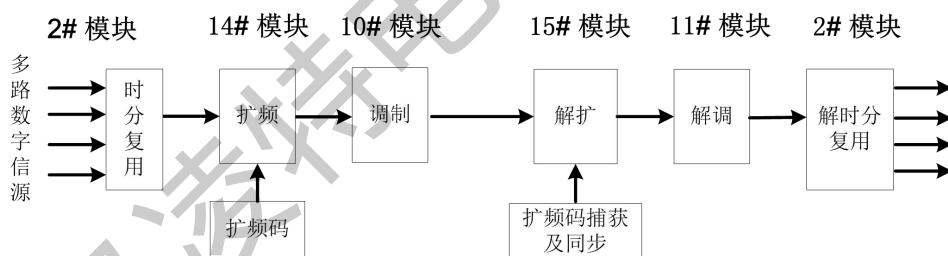
- 1、了解 TD-DS（时分加直扩）通信系统架构及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 2 号 数据终端模块
- 3、 10 号 软件无线电调制模块
- 4、 11 号 软件无线电解调模块
- 5、 14 号 CDMA 扩频模块
- 6、 15 号 CDMA 解扩模块
- 7、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



TD-DS通信系统实验框图

2、实验框图说明

TD-DS通信系统中，发送端的多路数字信号经过时分复用后，送入14号模块进行扩频处理，再10号模块进行调制发射出去；在接收端信号经过15号模块进行扩频码同步捕获识别后进行解扩，再送入11号模块解调输出复用信号，最后通过2号模块解复用输出原始的多路数字信号。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停

止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。)

- 1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。
- 2、按表格所示，完成扩频通信系统连线。

源端口	目的端口	连线说明
模块 2: TH1(DoutMUX)	模块 14: TH3(NRZ1)	提供第一路数据
模块 2: TH9(BSOUT)	模块 14: TH1(NRZ-CLK1)	提供第一路时钟
模块 14: TH4(CDMA1)	模块 10: TH3(DIN1)	送入 DBPSK 成形滤波
模块 2: TH9(BSOUT)	模块 10: TH1(BSIN)	提供成型时钟
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: 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: TH5(BS-out)	模块 2: TH12(BSIN)	送解复用时钟
模块 11: TH4(Dout)	模块 2: TH13(DIN)	送入解复用单元

- 3、运行仿真，开启所有模块的电源开关。
- 4、设置主控菜单，选择【移动通信】→【TD/DS 混合多址移动通信】。
- 5、将 2 号模块的拨码开关 S1 设置为 01110010，作为时分复用的帧头数据（解复用电路中默认识别 01110010 作为帧头信号）。任意设置拨码开关 S2、S3、S4，作为三路数据时隙。此时实验框图中 2 号模块 DoutMUX 输出速率为 16K。
- 6、将 14 号模块上的拨码开关 S1、S2、S3、S4 设置成所需的扩频码序列（可参考直接序列扩频、解扩以及 CDMA 通信系统实验）。将 15 号模块上的拨码开关 S1、S4 设置成对应的扩频码序列，与发送端保持一致即可。然后按模块 14 的复位开关 S7 和模块 15 的复位开关 S2，让系统配置扩频端和解扩端的拨码值。
- 7、缓慢调节 15 号模块的判决门限调节旋钮 W2 使解扩码与扩频码同步；再缓慢调节 11 号模块的压控偏置调节旋钮 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，从而使恢复信号无误码。
- 8、观察光条显示情况，查看数据传输是否正确。

9、调用示波器，观测该系统中各个环节的测试点，了解整个系统的信号传输过程。

五、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。

武汉凌特电子技术公司

实验二十二 CDMA 扩频通信系统实验

一、实验目的

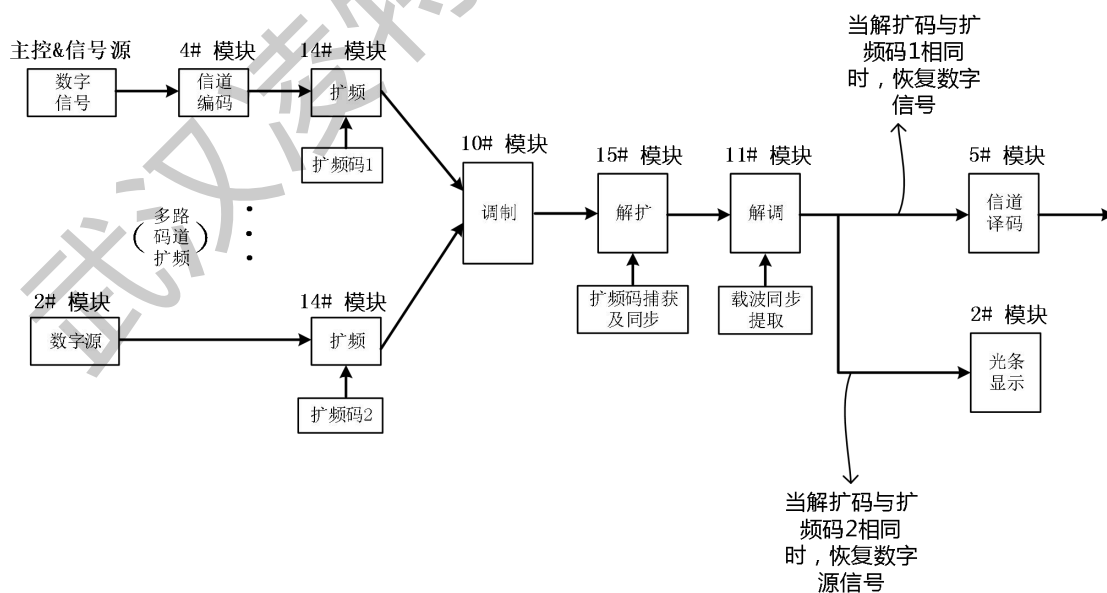
- 1、了解 CDMA 通信系统架构及特性。

二、实验模块

- 1、 主控单元模块
- 2、 2 号 数据终端模块
- 3、 4 号 信道编码模块
- 4、 5 号 信道译码模块
- 5、 10 号 软件无线电调制模块
- 6、 11 号 软件无线电解调模块
- 7、 14 号 CDMA 扩频模块
- 8、 15 号 CDMA 解扩模块
- 9、 示波器

三、实验原理

1、实验原理框图



CDMA扩频通信系统框图

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：在CDMA扩频通信发送端，14号模块提供两路扩频码道，每个码道的输入序列为16K，可由信号源模块提供，如框图中2号模块提供的数字源；另外，输入序列也可以是8K的数字信号经4号模块的卷积编码得到，如框图中主控模块提供的数字信号。两路输入数据与14号模块上的不同的512K高速率扩频码进行扩频处理，再经过10号模块的调制单元搬移到一个适当的频段进行传输。

在CDMA扩频通信接收端，接收信号由15号CDMA解扩模块完成扩频码的捕获跟踪及同步过程；只有当解扩码与扩频码一致时，解扩单元才能根据序列的相关特性来进行同步解扩。解扩后的信号送至11号模块，由11号模块完成码元恢复工作以及解调过程中所需的载波同步工作。

若输入序列为框图中的数字源，解扩码与扩频码2一致，则当系统联调后11号模块恢复输出的序列即为原始数字源；若输入序列为框图中的数字信号，解扩码与扩频码1一致，则当系统联调后11号模块恢复输出的序列，再经过5号模块的信道译码处理得到原始数字信号。

实验时需注意输入序列的速率要求、扩频码和解扩码是否一致等。

四、实验步骤

（注：实验过程中，凡是涉及到测试连线改变或者模块及仪器仪表的更换时，都需先停止运行仿真，待连线调整完后，再开启仿真进行后续调节测试。）

1、登录 e-Labsim 仿真系统，创建实验文件，选择实验所需模块和示波器。

2、按表格所示，完成 CDMA 通信系统发送端的连线。

源端口	目的端口	连线说明
信号源：CLK	模块 4：TH2(编码输入-时钟)	将信号送入信道编码单元
信号源：PN	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
模块 2：TH1(DoutMUX)	模块 14：TH6(NRZ-CLK2)	提供第二路时钟

模块 2: TH9(BSOUT)	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。

此时发送端调制信号输出口为：10 号模块的 P1(调制输出)。

3、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 16K 数字信号（即框图中的数字源）的 CDMA 接收系统的连线。

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
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: TH5(BS-out)	模块 2: TH12(BSIN)	送解复用时钟
模块 11: TH4(Dout)	模块 2: TH13(DIN)	送入解复用数据

(2) 用于接收 8K 数字信号（即框图中的数字信号）的 CDMA 接收系统的连线。

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
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

4、系统联调。

(1) 接收 16K 数字信号的系统联调。

a、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

b、设置主控菜单，选择【移动通信】→【CDMA 扩频通信系统实验】，选择【模块设置】→【2 数字终端&时分多址】→【16KHZ】。

c、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。然后按模块 14 的复位开关 S7 和模块 15 的复位开关 S2，让系统配置扩频端和解扩端的拨码值。



d、等待仿真时间 150ms 后，缓慢调节 15 号模块的判决门限调节旋钮 W2 使解扩码与扩频码同步；再缓慢调节 11 号模块的压控偏置调节旋钮 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，从而使恢复信号无误码。

注：关于解扩码与扩频码同步的调节方法，也可参考直接序列解扩实验的内容进行，觉得此步骤有难度的同学可以先从小的系统开始做起（如单独的调制部分），将模块参数调整好之后再逐步加入其它模块的连线。

e、观察光条显示情况，查看数据传输是否正确。

(2) 接收 8K 数字信号的系统联调。

a、调用示波器观测信号源模块的 PN 和 5 号模块的译码输出译码数据。

b、运行仿真，开启所有模块的电源开关。

c、设置主控菜单，选择【移动通信】→【CDMA 扩频通信系统实验】，再选择【功能 1】→【PN 序列】，将速率改为 8KHZ。

d、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。然后按模块 14 的复位开关 S7 和模块 15 的复位开关 S2，让系统配置扩频端和解扩端的拨码值。

e、缓慢调节 15 号模块的判决门限调节旋钮 W2 使解扩码与扩频码同步；再缓慢调节 11 号模块的压控偏置调节旋钮 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，

从而使恢复信号无误码。

f、记录信号源模块的 PN 和 5 号模块的译码输出数据的波形。

思考：在调制端是先扩频再调制，解调端为什么是先解扩再解调而不是先解调再解扩？

先解调的话，解调信号比较小，误码率很高，信噪比较低，根据香农公式 $C=B*\log_2(1+S/N)$ ，牺牲带宽来提高信噪比是不可行的，而先解扩则会提高信号增益，增大信噪比。

五、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。
- 3、简述 CDMA 通信系统在生活中的应用。