

# 1. 实验[1] LabVIEW 入门与连续信号离散化表示

## 1.1 实验目的

掌握 LabVIEW 的基本代码写作技能，包括前面板控件的装饰技巧、程序面板的基础语法。

通过实验加深对连续信号离散化近似表示工作原理的认识和理解，并熟练应用于虚拟仿真实验。

## 1.2 实验主要器材和设备

电脑，LabVIEW 程序开发和应用环境。

推荐参考书：《LabVIEW 虚拟仪器设计及应用》，郝丽、赵伟编著。

## 1.3 LabVIEW 入门

### 1.3.1 LabVIEW 简介

LabVIEW 是一种专门为工程师设计的编程语言，或者说它是一套带有编程语言属性的工程设计综合工具。我们很难在有限的篇幅、时间内讲清所有内容。因此，请学习者在阅读以下内容前，首先完整观看一遍课程提供的自编自制教学视频（视频链接 <https://www.bilibili.com/video/BV1gP411E7Pz/>）。

另外，建议学习者做 LabVIEW 编程实践中，可随时打开即时帮助功能（可用 Ctrl+H 快捷键调出）；如仍有疑问可以进一步查阅详细的帮助，LabVIEW 自身提供的帮助文档、示例程序是程序写作中最重要、最全面的指导。

#### 1.3.1.1 LabVIEW 的编程界面

LabVIEW 是一种图形化的编程语言和开发环境，它已广泛被工业界、学术界所接受，被公认为是一种标准的数据采集和仪器控制软件。使用图形化的编程界面，用户可以方便快速地构建需要的程序和仿真。

使用 LabVIEW 开发的一个程序被称为一个 VI (Virtual Instrument)，后缀名为 .vi。所有的 LabVIEW 程序都包含“前面板”(Front Panel)、“程序框图”(Block Diagram，也称后面板)、“图标/连接器 (Icon and Connector Panel)”三个部分。其中，

(1) 前面板是一种图形化的用户界面，如图 1-1 所示。前面板上能放置的控件分为两类：输入控件，用于输入参数；显示控件，用来输出结果。输入控件和显示控件都有很多的表现形式，比如布尔型数据的输入控件有各类开关、按钮、摇杆，显示控件有各类外形的指示灯；数值型数据的输入控件有各种外观的滑杆、旋钮和转盘，显示控件有进度条、仪表和量表。

(2) 程序框图是定义 VI 功能的图形化代码，如图 1-2 所示。程序框图上放置编程所需的各类函数，通过连线连接起来，完成某个特定功能。

(3) 图标/连接器位于前面板和程序框图面板的右上角，在建立子程序时会用到它们。其中，图标相当于子程序的函数名称，连接器对应于子程序的输入输出参数。

(4) 前面板和程序框图面板上都有工具条，前面板上的工具条可以实现运行/停止程序、控件排列、字体设置等，程序框图面板上的工具条比前面板多了一些程序调试工具。

LabVIEW 编程中经常要用到三个操作选板，分别是：工具选板（前面板、程序框图面板皆有）、控件选板（前面板）和函数选板（程序框图面板）。

(1) 工具选板如图 1-3 所示，提供各种用于创建、修改和调试程序即 VI 的工具。比如选择

工具、用于编辑文本的工具、用于连线的工具，以及调试程序可能需要的加载断点和探针工具等。工具选板在前面板、程序框图面板均可调出，路径：查看/工具选板。

(2) 控件选板如图 1-4 所示，存在于前面板，用于在前面板上添加各种输入控件和显示控件，以及一些装饰和美化。调出路径：前面板/查看/控件选板；前面板/空白处点选鼠标右键可直接弹出。

(3) 函数选板如图 1-5 所示，存在于程序框图面板，为 VI 编程提供图形化的各种函数。LabVIEW 是图形化编辑语言，不同的函数（包括常量变量）是以不同的图标表示的。调出路径：程序框图面板/查看/函数选板；程序框图面板/空白处点选鼠标右键可直接弹出。



图 1-1 LabVIEW 的前面板举例

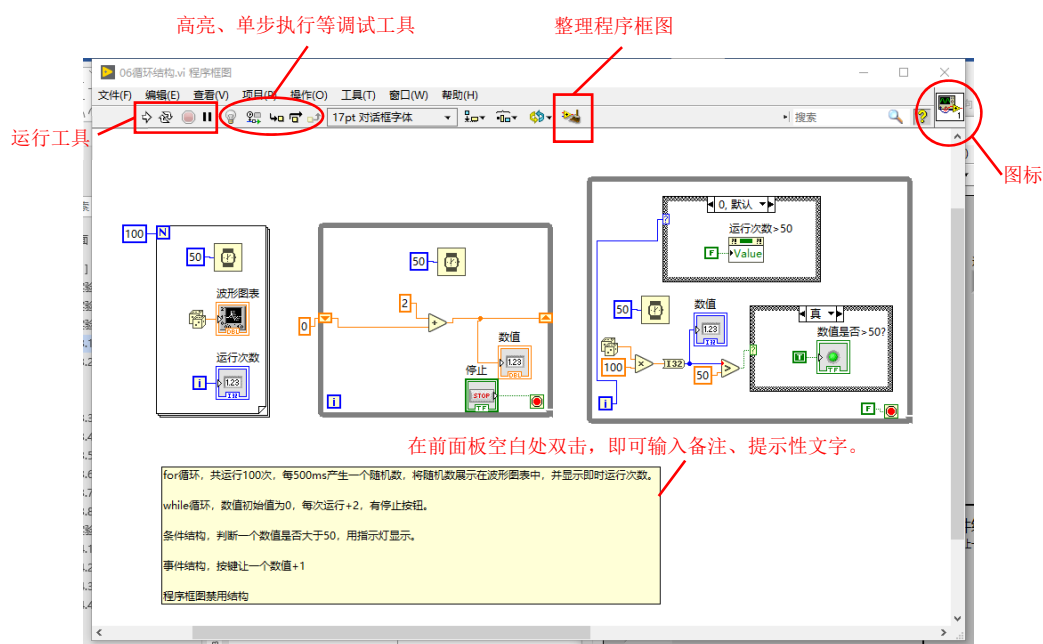


图 1-2 LabVIEW 的程序框图面板举例



图 1-3 工具选板

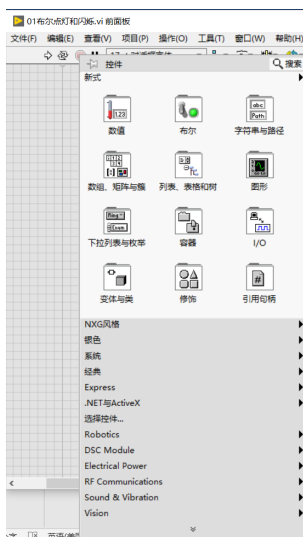


图 1-4 控件选板



图 1-5 函数选板

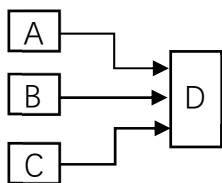


图 1-6 数据流机制

	标量	一维数组	二维数组	
浮点数				橙色
整型数				蓝色
逻辑量				草绿色
字符串				粉色
文件路径				青绿色

图 1-7 LabVIEW 中的各种连线

学习 LabVIEW 这种图形化编程语言，首先要理解数据流的编程机制。对于文本式的传统编程语言，比如 C，MATLAB 等，默认的程序执行机制是程序语句按照排列顺序逐句执行。但图形化的数据流式编程语言，其执行规则是，任何一个节点只有在所有输入数据均有效时才会执行。如图 1-6 所示，对节点 D 而言，只有当输入端子 A、B、C 的输入数据都有效时，D 才会执行。

在 C 语言等文本式语言中程序是逐行顺序执行，但在 LabVIEW 中程序是并行运行的，如图 1-2 中，程序框图上所有独立运算同时进行，最左侧的 For 循环中的延时 50 毫秒、随机数发生、循环次数显示虽然有摆放位置上下的区别，但这三个结构同时执行；For 循环和 While 循环虽然有摆放位置左右的区别，但每一次循环也是同时执行的。所有独立结构不分上下左右同时执行，详见视频 1 中的讲解，使用“高亮”工具可以“看到”程序并行运行的过程。

在 LabVIEW 的程序框图中，各节点是靠连线连接起来的。连线是不同节点之间的数据通道。数据是单向流动的，即从源端口流向一个或多个目的端口。在 LabVIEW 中，通过连线的粗细、形状以及颜色的不同来表征所传输的数据的不同类型。比如，如图 1-7 所示，连线的橙色，代表的是浮点数；蓝色代表传输的是整型数；草绿色代表的是逻辑量；粉色代表的是字符串；粗连线代表数组，细连线代表标量，等等。

### 1.3.1.2 LabVIEW 的初步操作

编写简单的 VI，实现一个闪烁周期为 1 秒、占空比 50%（0.5 秒亮、0.5 秒灭）的指示灯。详细讲解请参考视频 01。下面展示两种编程思路及做法。

第一种做法（如图 1-8）：

（1）打开 LabVIEW，工具栏/文件/新建 VI，系统自动弹出前面板和程序框图面板。保存 VI 为“指示灯闪烁.vi”，在前面板或程序框图面板的工具栏上点击文件/保存。

（2）考虑用循环结构实现闪烁周期，在此以 While 循环为例。在程序框图面板上点击鼠标右键，函数选板/编程/结构/While 循环。

LabVIEW 中的 While 循环，有几个控制量：循环次数  $i$ ，从 0 开始；条件接线端，代表循环什么时候停止，默认是真时停止。如果给条件接线端一个假常量（程序框图面板/函数选板/编程/布尔/假常量），While 循环就会一直运行。将条件接线端连接到一个开关按钮（前面板/控件选板/新式/布尔/开关按钮），即可在前面板上通过此按钮，控制循环的结束。

（3）将赋给这个布尔变量的值，在每一次循环中取反。在程序框图面板/函数选板/函数/布尔/非。

（4）下一步给 While 循环添加一个移位寄存器，在 While 循环的边框上鼠标右键/添加移位寄存器，可以观察到循环框左右两边出现了两个小箭头符号，这就是添加的移位寄存器。只要给移位寄存器一个初值，每次循环取反，赋值给布尔变量，在前面板上就可以达到闪烁的效果。

（5）实现闪烁周期为一秒，需要在循环内加一个延时，程序框图面板/函数选板/定时/等待。查看帮助，输入端的含义是等待指定长度的毫秒数字。左侧接线端，给一个等待的毫秒数。在左侧接线端点鼠标右键/创建/常量/输入 500。

LabVIEW 是以拖拽、连线的方式完成编程的，这样我们就完成了这个程序。前面板（如图 1-9）上可以直观地看到运行结果。指示灯闪烁周期为一秒，占空比 50%，也就是 0.5 秒亮、0.5 秒灭。

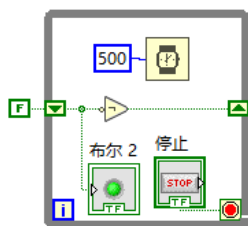


图 1-8 指示灯闪烁程序的程序框图



图 1-9 指示灯闪烁程序的前面板

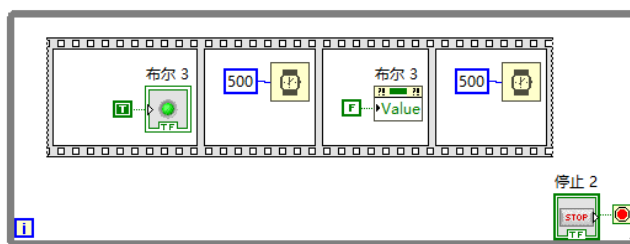


图 1-10 用“平铺式顺序结构”完成指示灯闪烁程序的程序框图

第二种做法（如图 1-10）：LabVIEW 中的程序是并行运行的，但可以利用“平铺式顺序结构”，控制程序运行的先后顺序。“平铺式顺序结构”的路径在程序框图面板/函数选板/结构/平铺式顺序结构。

（1）在“平铺式顺序结构”的第一帧中点亮一个指示灯，即是在前面板创建一个布尔指示灯，并在程序框图面板将输入设置为真常量；

- (2) 在框图上点选鼠标右键/在后面添加帧，在第二帧中添加 500 毫秒等待；
  - (3) 继续添加帧，在第三帧中改变指示灯状态：为第一帧中的指示灯创建属性节点（在目标上点选鼠标右键/创建/属性节点/值），并转换为写入（在已创建的属性节点上点选鼠标右键/全部转换为写入），输入设置为假常量；
  - (4) 继续添加帧，在第四帧中添加 500 毫秒等待；
  - (5) 在最外层添加 while 循环框，并设置循环条件为前面板按钮，或假常量。
- 这种方法也可以达到前面板（如图 1-9）指示灯闪烁、0.5 秒亮、0.5 秒灭的效果。
- 这个程序较为简单，在熟悉 LabVIEW 后，编程者应当有更多种方法能达到闪烁效果。

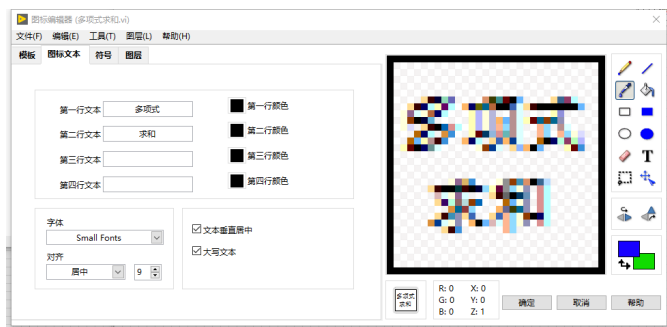


图 1-11 根据子程序的功能修改默认的 VI 图标

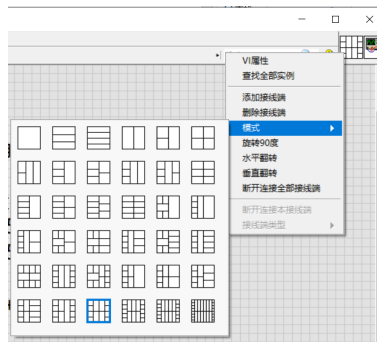


图 1-12 使用连接器绑定子程序的输入输出

### 1.3.1.3 建立并调用子程序

在 LabVIEW 中，建立子 VI 有两个步骤：修改图标和建立连接器。详细讲解请参考视频 04。下面以计算  $y = Ax^2 + Bx + C$  为例，讲解如何建立子 VI。具体步骤如下：

- (1) 首先完成多项式计算的部分程序。

在前面板/控件选板拖出 A/B/C/x 四个输入控件，y 一个显示控件；在程序框图面板/函数选板拖出乘法和加法，按照公式连线。

- (2) 修改默认的 VI 图标。

双击前面板或程序框图面板右上角的默认图标，在弹出的界面中（如图 1-11），先利用选择工具选中默认的图标，按下 Delete 键删除图标；然后在“图标文本”中输入“多项式求和”，即是这个子 VI 的作为一个函数图标显示的外观；单击“确定”退出界面。

- (3) 建立连接器。

在前面板的右上角找到连接器，可以右键调出菜单/模式/选择合适的外形、输入输出参数个数（如图 1-12）。在本例中，有四个输入、一个输出，可以使用默认的连接器；然后，选中连接器的各个端子，让其与前面板上的控件依次绑定。保存程序，可以命名为“多项式求和.vi”。

完成上述步骤，一个字 VI 就建立好了。随后在新构建的 VI 中，就可以调用这个“多项式求和”子 VI。如何新的 VI 中调用子 VI，可以按照以下步骤进行：

- (1) 新建一个 VI，在这个 VI 的程序框图面板调出函数选板/选择 VI/找到子 VI 的保存路径，就在上级程序中调用了这个子 VI。

- (2) 在新建的 VI 中创建四个输入控件（数值输入控件）、一个显示控件（数值显示控件）并命名，在程序面板上对应连接控件编程接口和子 VI 的输入输出端口。在前面板分别输入 A/B/C/x 的值，测试程序。

以上部分内容的具体操作步骤，请参考视频 04。

### 1.3.1.4 程序调试技术



在所编写的程序规模越来越大时，排查错误、调试程序会变得非常重要。在这一部分，将以计算 $y = Ax^2 + Bx + C$ 多项式为例，简单演示在 LabVIEW 中如何进行程序调试。

### (1) 错误列表提示

首先在 VI 中人为制造一处错误。比如删掉加法的一个输入数据，如图 1-13。此时看工具栏的“运行”按钮，处在箭头断裂的状态，代表此时程序不能运行。如果仍然点击“运行”，就会弹出“错误提示列表”。在错误项中选中的一个错误，下面会提供有关该错误的详细说明，请仔细阅读，有助于修改程序。双击这个错误，LabVIEW 还会自动定位、跳转到这个错误。阅读错误提示，在任何编程语言和环境中，都是最及时和强大的帮助。

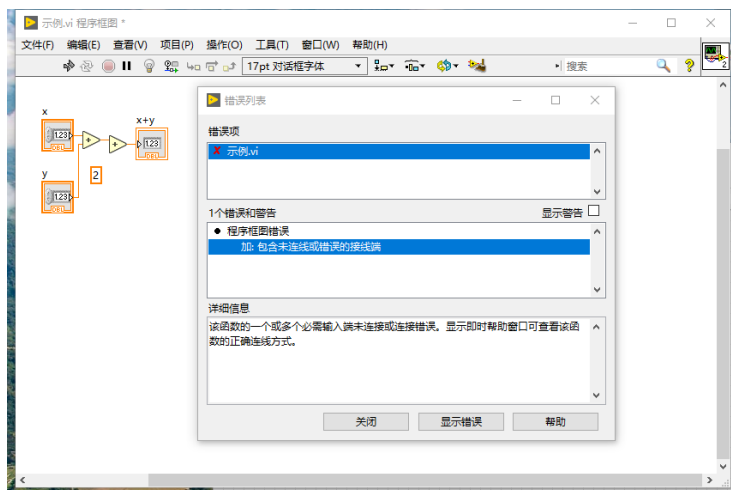


图 1-13 错误列表界面

### (2) 高亮显示

错误列表提示的一般属于语法错误，有些程序能通过编译、可以运行，但是运行结果不如预期，属于所编写的 VI 算法存在问题。为了避免这类错误，一般在 VI 编写时，将程序功能分步骤编写，在每一步都设置显示控件、逐步骤验证功能。

如果在较小的程序规模中，仍然无法完成预期功能，或得到错误的数据，可尝试 LabVIEW 提供的“高亮显示”。这个功能位于程序框图面板的工具条上，如图 1.2 中，灯泡状的按钮即是“高亮显示”。单击这个按钮，灯泡会变成点亮状态，此时再单击“运行”按钮，程序的运行会变慢，并显示出程序运行时实际发生的数据流过程。观察这些数据的内容、先后，可以帮助查找问题。这个功能在 LabVIEW 中较为常用，具体的操作步骤请参考视频 01。

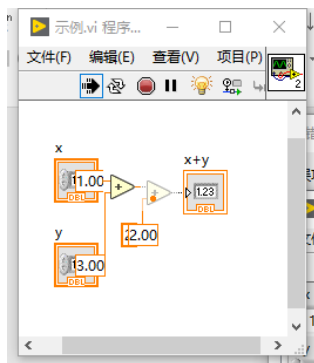


图 1-14 “高亮显示”下执行程序会出现“气泡”数据流

### (3) 探针

探针工具一般和“高亮显示”配合使用。如图 1-15，将鼠标放在需要观察的连线上，右击鼠标，在弹出菜单中选择探针，探针如图 1-16 所示，还可以设置多个探针。此时在“高

亮显示”功能下运行程序，可以观察到每个探针的值的变化。这样就实现了对某段算法结果的检测，可以帮助找到出错的地方。



图 1-15 在程序中创建探针

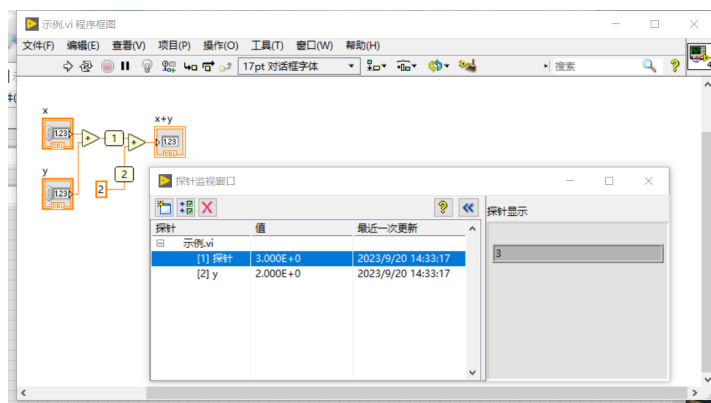


图 1-16 生成的探针和探针监视窗口

#### (4) 断点和单步执行

探针工具还可以和断点功能配合使用。(关闭“高亮显示”功能，此时灯泡按钮处于灯泡熄灭的状态。)

在所关注的连线处右击鼠标，右键菜单/断点/设置断点，生成的断点如图 1-18 所示；然后在断点处创建探针；在程序框图面板运行程序，程序会在断点处暂停，探针中会显示当前连线中变量的数值；使用程序框图面板工具条上的“单步执行”工具让程序继续运行。

程序调试完成后，在断点上點選鼠标右键/断点/清除断点，即可回到正常的运行状态。

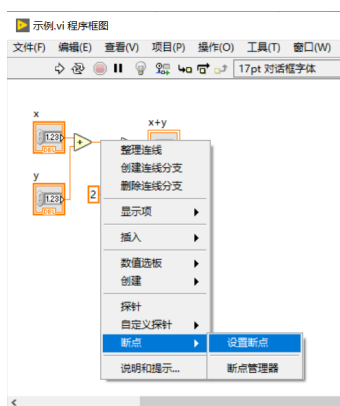


图 1-17 在程序中创建断点

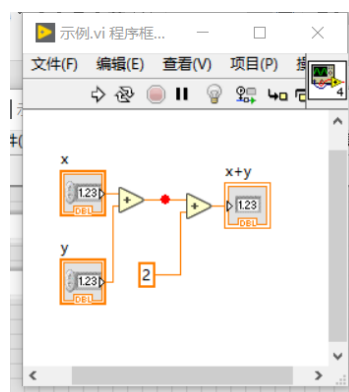


图 1-18 生成的断点

### 1.3.1.5 LabVIEW 常用技巧提示

下面总结一下学习和使用 LabVIEW 时有用的若干技巧。

#### (1) 即时帮助

LabVIEW 中的函数有很多，在一开始就全面学习每一个函数的用法或一个函数的全部用法并不现实，最好的办法是在用到某种功能的时候再具体学习对应函数的原理和用法。在用到某个 VI 时，利用 LabVIEW 的即时帮助功能（鼠标选中某个 VI，快捷键 Ctrl+H 调出即时帮助窗口），阅读即时帮助窗口的简要说明；也可查阅详细帮助信息，会自动弹出帮助文件中有关当前选中函数（或者控件）的详细介绍。

#### (2) NI 范例

在即时帮助窗口中点击“详细帮助信息”，在 LabVIEW 的帮助文件中会提供很多有关目标函数（或者控件）的使用范例，是很好的自学资源。

### (3) 快捷键操作

常用快捷键有：

Ctrl+B 清除程序框图面板上所有断线；

Ctrl+H 调出即时帮助；

Ctrl+E 切换前后面板；

Ctrl+U 整理程序；

Ctrl+R 运行程序。

## 1.3.2 LabVIEW 基本数据类型

LabVIEW 中有关数据有三个概念需要明确：

第一，数据的组织类型。在 LabVIEW 中，数据的组织类型有三种，分别是输入控件、显示控件和常量。其中，输入控件和显示控件都在前面板的控件选板上，常量在程序框图选板的函数选板上。顾名思义，输入控件是用来输入参数的，显示控件是用来显示 VI 的测量、分析、计算及处理结果的，这两者既在前面板有图形显示，又在程序框图面板有编程接口；而常量一般只在编程过程中使用，而无需对用户显示，所以常量只显示在程序面板。

第二，数据的表现形式。以数值型数据为例，如图 1-4 所示，它可以表现为数值的输入控件、仪表、量表和滑动杆等多种形式。LabVIEW 的重要应用是虚拟仪器，这些控件外观虽然很不同，但数据类型都是相同的，都是数值。

第三，数据类型。LabVIEW 中，除了基本的数据类型，例如数值、布尔量和字符串等等，还提供几种所谓复合数据类型，包括有数组、簇、波形和 DDT 等。视频 03 中主要讲解了数组的创建和应用，视频 07 中会讲解本课程实验中用到的几种复合数据类型。

### 1.3.2.1 数值

LabVIEW 中的数值控件有很多种表现形式，并提供有很多对应数值的操作函数。

#### (1) 数值控件

数值控件分为输入控件和显示控件，位于前面板/控件选板/新式/数值。这两种控件都有很多种表现形式（数值输入/滑动杆/旋钮等），同时某一种表现形式的控件又有不同的风格区别（新式/银色/系统/经典等），学习者可以按照前面板形式要求，或者个人喜好选择。

#### (2) 数值的数据类型

LabVIEW 中以浮点数、定点数、整数、无符号数以及复数等不同的数据类型表示数值数据，如图 1-7 中，不同的数据类型，用不同的粗细、形状以及颜色来表示。如需修改某个数值的类型，可以在前面板找到这个数值的控件，或者在程序框图面板找到这个数值的函数图标，在其上点击鼠标右键/表示法，在弹出的选项中选择需要的数据类型即可。

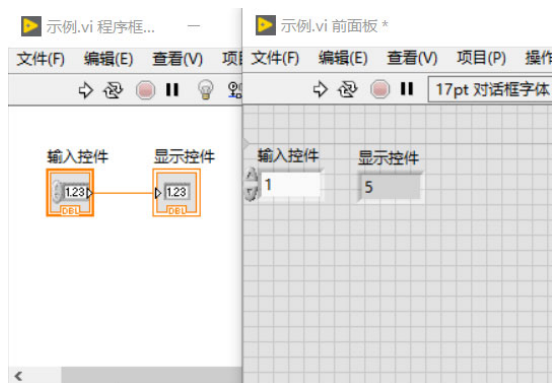


图 1-19 前面板、程序框图面板上的数值控件



图 1-20 选中一个数值控件，即时帮助中会提示数据类型信息



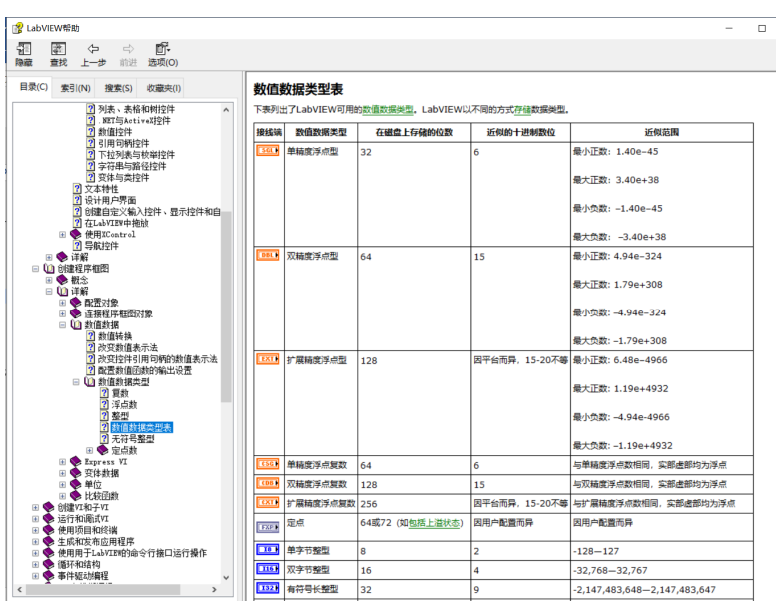
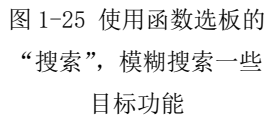


图 1-22 LabVIEW 帮助文件中列出的数值数据类型表, 详细信息请查阅具体的帮助文档

LabVIEW 提供的数值函数的路径在“函数选板/编程/数值”，除了左侧的简单运算、常量、随机数产生外，右侧还有许多子选板，比如“转换”、“复数”等。在实际使用中，除了记住一些常用函数的路径，还可以按选板名称大意逐级查询，也可以使用函数选板右上角的“搜索”功能、查询目标功能是否有对应的函数。



图 1-24 “数值”子选板下的  
“转换”可以继续点开



字符串控件的路径在“控件选板/新式/字符串与路径”子选板，字符串控件也分为输入控件和显示控件。

### 1.3.2.3 布尔量

1-9

对布尔量进行操作的函数，大部分位于“函数选板/编程/布尔”子选板。“

### 1.3.2.4 枚举与下拉列表

枚举控件位于“控件选板/新式/下拉列表和枚举”子选板，详细操作请参考视频 08 后半部分。前面板的某个参数如果有几个常用值，可以用“下拉列表”实现快速选择。如果将枚举控件连接到条件结构的选择器端子上，可以用来实现状态机。

### 1.3.3 LabVIEW 程序结构

本次实验中主要用到循环结构（While 循环和 For 循环）、条件结构、平铺式顺序结构、程序框图禁用结构，可能还会使用到公式节点、反馈节点、MATLAB 节点等。事件结构一般用在虚拟仪器实践，当用户操作前面板上某个输入控件，计算结果需要随之更新的应用中。程序结构的具体的操作步骤请参考视频 06。

#### （1）平铺式顺序结构。

LabVIEW 中的程序是并行执行的，如果要控制 LabVIEW 中程序执行的顺序，应该用“平铺式顺序结构”完成，示例请参考 1.3.1.2 节。

#### （2）条件结构

LabVIEW 中用“条件结构”实现 C 语言中 if 和 switch 语句的功能，调出路径是“函数选板/编程/结构/条件结构”。条件结构作为一个编程上的程序结构，在前面板上是没有显示的。

输入端口“条件选择器”判断程序执行哪一个分支程序，当“条件选择器”的输入是布尔型数据，即是只有两个分支，条件结构相当于 if 语句；当“条件选择器”的输入是非布尔型数据（整型数、字符串或枚举型等等），它相当于 switch 语句。

将鼠标放在条件结构程序框上点选右键，能调出条件结构相关的快捷菜单，比如“添加分支”、“删除分支”等等。

关于条件结构更详细的说明，以及示例代码，请查阅条件结构的帮助文档。



图 1-26 条件结构编程举例，即时帮助中给出了使用简明指导

#### （3）循环结构

LabVIEW 提供 While 循环和 For 循环函数，他们都位于“函数选板/编程/结构”子选板下，具体的端口含义请查阅帮助文件。LabVIEW 中使用循环结构，要特别注意设置索引、移位寄存器、反馈节点等的综合使用。

#### （4）公式节点、MATLAB 节点

公式节点位于“函数选板/编程/公式节点”，MATLAB 节点位于“函数选板/数学/脚本与公式/脚本节点/MATLAB 节点”，有时，复杂的算法完全用图形化的代码实现会过于繁琐，用文本式语言则会相对简单，LabVIEW 提供将二者结合使用的方式。详细步骤请参考视频 04。

#### （5）属性节点

属性节点用于设置前面板控件的属性，并允许动态地对其进行调整和改变。

在程序框图面板选中目标函数，点选鼠标右键/创建/属性节点/值，即可创建一个属性节点；在新建的属性节点图标上点选鼠标右键，出现的快捷菜单可以控制“全部转换为写

入”或者“全部转换为读取”。详细步骤请参考视频 01。善用“属性节点/值”，可以实现类似局部变量的功能。

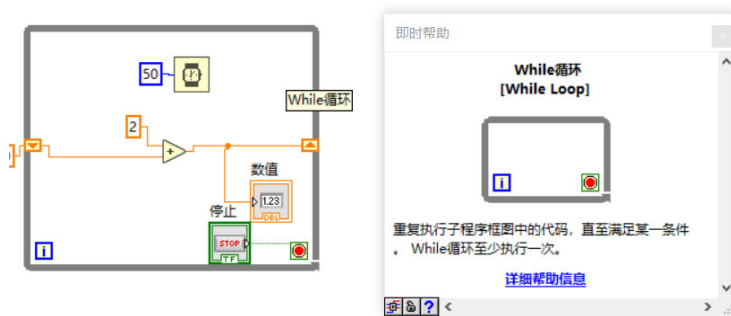


图 1-27 While 循环编程举例，查阅详细帮助可知循环结束的条件

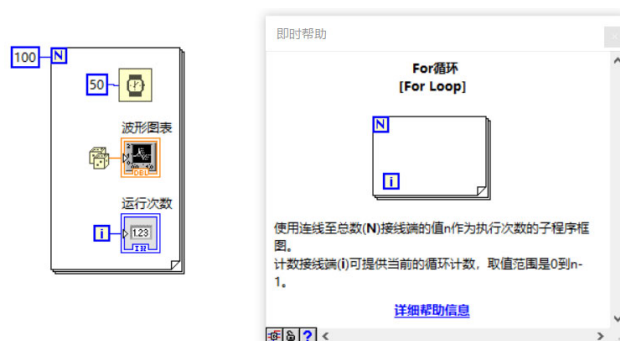


图 1-28 For 循环编程举例，即时帮助中给出了循环总次数和条件接线端的简要说明

### 1.3.4 实验用到的 LabVIEW 复合数据类型

实验中用到的复合数据类型主要有数组、簇和波形。

#### (1) 数组

数组是相同元素的集合。

在前面板可以创建数组的输入控件、显示控件，在程序面板可以创建数组常量。数组控件的路径在“控件选板/新式/数组、矩阵与簇”子选板，数组函数的路径在“函数选板/编程/数组”。数组的索引、数组函数非常重要，请仔细学习视频 03，并通过阅读帮助、设计实验等方法，尝试“函数选板/编程/数组”子选板下更多函数的具体功能。

#### (2) 簇

簇是多个元素的组合。

簇的元素可以是不同类型的，类似 C 语言的结构。使用簇，可以减少子 VI 接线端的数量，在实际的虚拟仪器应用中很常用。簇的创建于数组类似，在前面板可以创建簇的输入控件、显示控件，在程序面板可以创建簇常量。簇的控件的路径在“函数选板/编程/数组”，簇的函数的路径在“函数选板/编程/簇、类与变体”。详细的操作内容请参考视频 07。

#### (3) 波形

波形包含三个元素： $t_0$ 、 $d_t$  和数组  $Y$ 。

其中， $t_0$ 代表指定波形的起始时间； $d_t$ 代表指定波形中数据点间的时间间隔，以秒为单位；数组  $Y$  即是指定波形的数据值。

波形控件即是波形图与波形图表，波形函数非常丰富，其中较常用的“获取波形成分”和“创建波形”的路径在“函数选板/编程/波形”子选板；仿真常用的“正弦波形”、“高斯白噪声波形”等的路径在“函数选板/信号处理/波形生成”。“信号处理”子选板下还有波形处理、波形测量等函数，“滤波器”“变换”两个子选板也有较多本次通信原理实验中使用的函数。详细的操作内容请参考视频 07。

波形可以看出一个特殊的簇,在实际编程中,经常会用“获取波形成分”函数将这个“簇”解开,直接对“数组 Y”进行处理,后续可以用“创建波形”函数再把几个元素绑定。

### 1.3.5 图形显示及其他技巧

使用 LabVIEW 编程的图形显示功能,是实现本课程实验数据可视化的最重要手段。

在 LabVIEW 的图形显示功能中,波形图(图 1-30)和波形图表(图 1-29)是两个最基本的概念。以波形图为例,认识这个控件的各个部分。二者的路径都在“前面板/控件选板/图形”下。

- 波形图表(chart)是将数据源(如采集到的数据)在某一坐标系中实时、逐点地显示出来,清晰地反映出被测物理量的变化趋势。波形图表将一定数量的数据点存储在缓冲区(默认缓冲区为 1024 个数据点),并通过这种方式存储并显示这些数据点。当缓冲区被填满后,波形图表将会用新的数据点覆盖缓冲区中存在时间最久的数据点,即是只显示最后 1024 个数据点。对于波形图表,可以一次写入单个或多个数据点。
- 波形图(graph)的作用是对已采集到的数据进行事后处理,讲采集到的数据存入一个数组中,然后将这个数组组织成相应的结果(比如利用“创建波形”函数加入一个时间间隔 $d_t$ ;或者描述表示逻辑分析的数字波形等等,具体内容和示例程序请查阅“波形图”控件的 LabVIEW 帮助文档)。

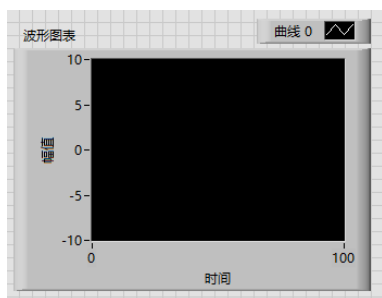


图 1-29 波形图表控件

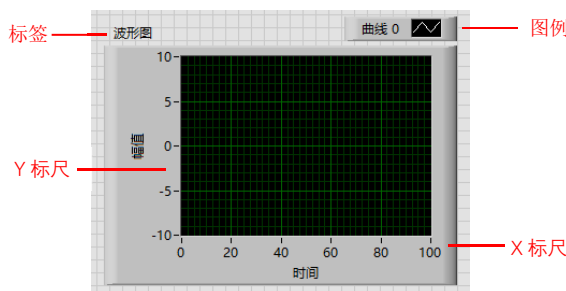


图 1-30 波形图控件

在虚拟仪器应用中,如果需要观察一个动态波形,常用“波形图表”控件。而在本课程实验中,虚拟仿真通信系统中的电信号,经常需要直观展示信号的波形形态,静态地观察细节,所以比较多采用“波形图”控件。更多二者的区别请参考视频 02。

在前面板上选中波形图控件,点鼠标右键、弹出快捷菜单、选择“属性”、弹出“图形属性设置”面板,可修改波形图控件的各种属性。如何个性化地设置图例呢?以教学视频 08 中的“波形图 1”(如图 1-34)为例,这个波形图包含三条曲线分别是“信号”、“噪声”、“信号+噪声”,分别用不同的颜色、线型表示。

下面分步说明如何从原始的波形图(如图 1-30)修改至指定的外观。在按照图 1-37 完成程序后,打开目标波形图的“图形属性设置”面板,其后步骤如下:

(1) 在“外观”选项卡下,“标签”一栏,可以修改标签为“波形图 1”,即是这个波形图的名称。

(2) 在“曲线”选项卡下,点击图 1-32 中画圈所示的下拉菜单,分别修改三条曲线的形态。比如对于曲线 3,修改其名称为“信号+噪声”,然后修改线条样式保持默认,线条宽度保持默认,打点样式选择大圆点、插值方式选择线性插值,然后分别修改线条和点的颜色为绿色。

(3) 在“标尺”选项卡下,可以设置 X 标尺、Y 标尺的名称范围。修改 Y 标尺的名称为“幅值”。如果前面板的采样数设置合适,可采用“自动调整标尺”;如果前面板的采样数设置过大,波形图上会出现很多的波形导致无法观察细节,此时可以不采用“自动调整标尺”、手动设置 X 标尺的最大值、最小值。

完成以上步骤后,可以点击“确定”以关闭“图形属性设置”面板,然后在前面板拖动

波形图到合适的大小，拖动图例使三条曲线的图例都显示出来。

“图形属性设置”面板下的“显示格式”、“数据绑定”等选项卡下都要丰富的内容可以设置，以完成不同的图形需求，如需更多的指导，可以个人设计小实验并尝试修改属性内容，也可以查阅推荐教材，或者详细阅读 LabVIEW 关于波形图的详细帮助文件、示例程序。

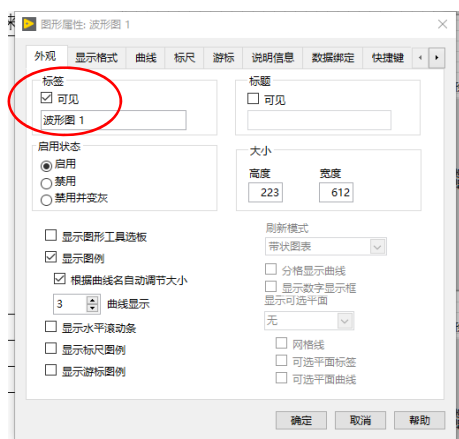


图 1-31 “外观”下可以修改波形图的名称

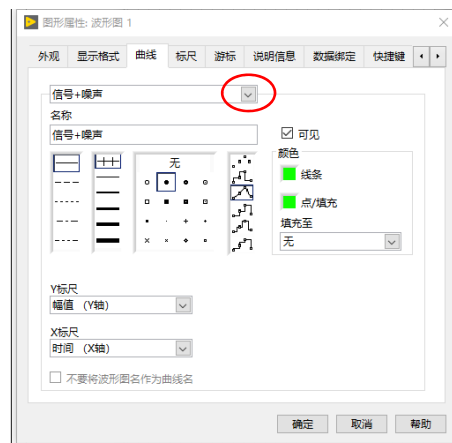


图 1-32 “曲线”下可以分别修改波形的名称、线条样式颜色等



图 1-33 “标尺”下的可修改项

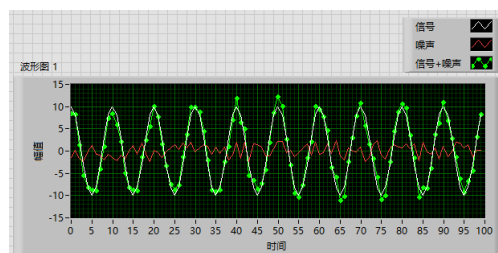


图 1-34 在一个波形图控件中显示三个波形

## 1.4 实验原理

### 1.4.1 连续信号的离散化表示和过采样率

在本课程实验中，学习者将使用 LabVIEW 编程，基于数学原理模型对通信系统做虚拟仿真实验，加深对课程理论的理解。

在实际通信系统中存在的模拟制或数字制通信信号，物理本质上都是连续变化的信号（电信号、光信号、声信号等）。为开展计算机仿真，需要对它们先做离散化近似表示，特别是时间离散化，以便在编程时采用数组等数据类型记录和运算处理。

以正弦信号为例，若在连续时间域可表示为

$$x(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (\text{式 1-1})$$

通常需要确定一个采样频率  $f_s$ ，以固定的时间间隔  $d_t$  对该信号进行采样操作，获得采样值序列  $x[i]$ ，用  $x[i]$  表示  $x(t)$ ，即

$$x[i] = A_c \cos(2\pi f_c \frac{i}{f_s}) \quad (\text{式 1-2})$$



$$d_t = \frac{1}{f_s} \quad (\text{式 1-3})$$

经典的采样定理已经指出了用 $x[i]$ 不失真描述 $x(t)$ ， $f_s$ 取值的理论下限为 $f_s \geq 2f_c$ 。而在做虚拟仿真实验时，除了尽量满足上述条件之外，还会考虑其他一些因素，比如实验数据可视化视觉效果。

为方便讨论，不妨定义过采样率 $K_s$ ，即

$$K_s = \frac{f_s}{f_c} \quad (\text{式 1-4})$$

图 1-35 展示了当 $K_s = 2$ 、10、100、1000情况下，正弦波形离散化表示后，LabVIEW 绘图得到的视觉直观效果，可见过采样率越高效果越好。

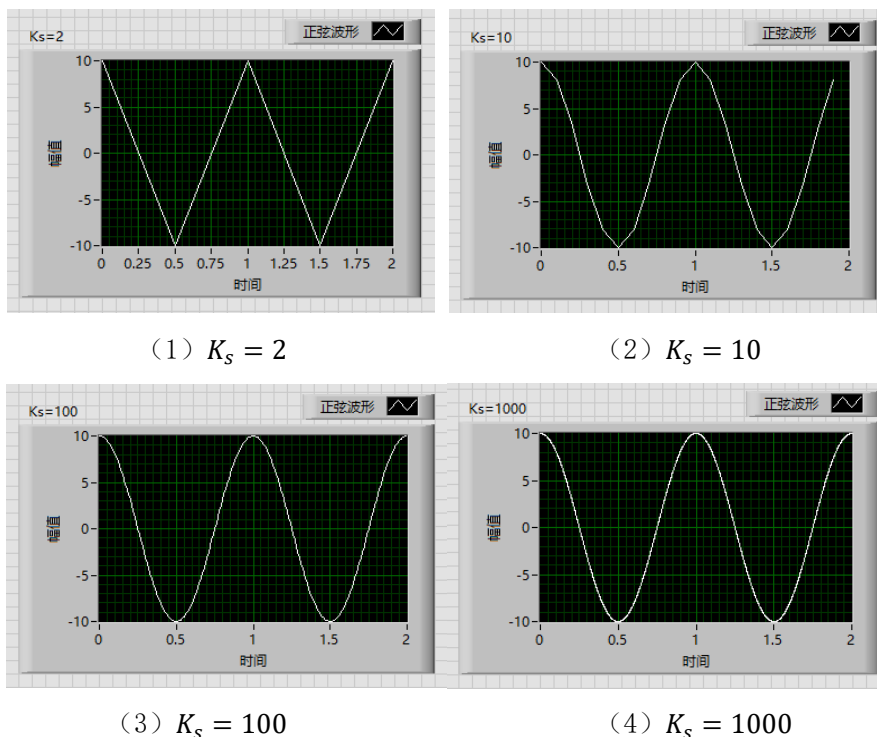


图 1-35 过采样率不同取值时波形绘制的视觉效果

另外，在通信系统中存在大量的随机事件。采样频率越高，对随机事件模拟的仿真颗粒度也就越精细。但同时，仿真颗粒度越细，运算量也越大，仿真系统运行越慢。所以， $K_s$ 取值需要折中考虑。在本课程实验中，大多情况下会建议 $f_s = 1000f_c$ 。

#### 1.4.2 噪声信号的模拟

在通信系统中，噪声信号总是与有用信号相伴而行，难以完全消除。理论模型里，经常使用高斯白噪声来近似描述实际通信中噪声，因为高斯白噪声在数学上有良好解析性，方便做公式推导和理论求解。但是，高斯白噪声具有无限宽频谱和无穷大功率的数学属性，在现实中不存在，不能被物理实现。同样，在课程实验虚拟仿真时，我们也无法精确模拟产生它。LabVIEW 函数选板中所谓“高斯白噪声波形”（路径“信号处理/波形生成/高斯白噪声”）VI，只是一种近似生成。

一般地， $f_s$ 取值越大，或说 $K_s$ 取值越大，模拟产生的“高斯白噪声”相对于频率约为 $f_c$ 的有用信号的影响效果，越接近理想高斯白噪声。

图 1-36 展示了当 $K_s = 50$ 、1000情况下，在仿真系统中正弦波形叠加高斯噪声后的波形效果，显然后者更接近白噪声效果。

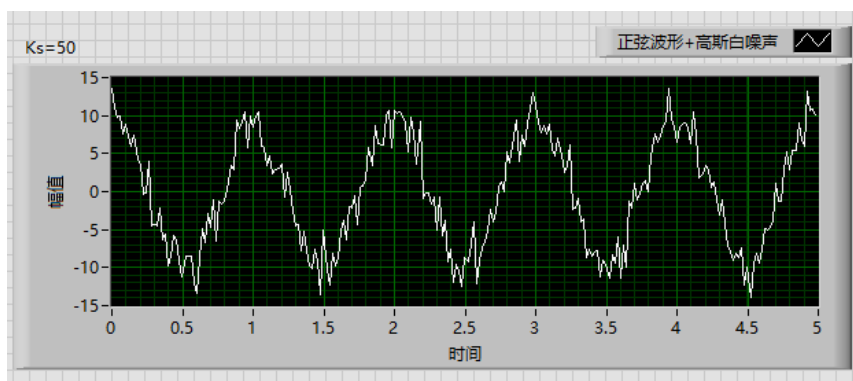
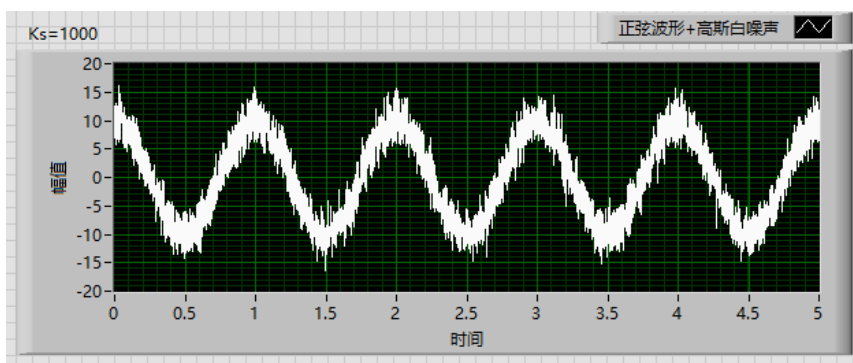
(1)  $K_s = 50$ (2)  $K_s = 1000$ 

图 1-36 过采样率不同取值时信号叠加噪声的直观波形效果

视频 08 提到如何模拟一个余弦波形信号通过有噪信道传输，然后观察其波形。为了演示程序设计的多种可选方案，分别讲解了三种方式来编制程序。

(1) 使用函数（程序框图如图 1-37）

即使用函数选板下的基础函数、按照式 1-2 构建仿真，这种方式易于直观理解，也最常用。采样数可以理解为一共处理多少个采样点信息，比如采样率=10Hz，采样数=50，可以理解为 1 秒内采集 10 个信号样本，一共处理 50 个信号样本。

(2) 使用“波形产生”类 VI（程序框图如图 1-38）

这种方法使用的“波形产生”类 VI 有两个路径可以找到：函数选板/编程/波形/模拟波形/波形产生/正弦波形，函数选板/信号处理/波形生产/正弦波形；噪声波形产生的 VI 也可以在“波形产生”选板下找到。

(3) 使用“仿真信号”VI（程序框图如图 1-39）

这种方法使用的“仿真信号”VI 的路径是：函数选板/信号处理/波形生成/仿真信号。注意这个 VI 是多用途的，许多参数需要在 VI 的配置面板配置，第一次添加 VI 时配置面板会自动弹出，后续如需要更改配置可以双击这个 VI。信号类型、频率、幅值等信息可以通过输入设置，但信号的采样率和采样数等只能在配置面板设置。

对比三种方法下面板的运行效果，可以发现第一种方法产生的波形是静态的，后两种方法产生的波形是类似示波器效果、动态刷新的，这是使用 While 循环完成的动态刷新效果。对于第一种方法，如果在程序最外层添加 While 循环框，也可以达成动态刷新效果。在 while 循环框中添加等待时间，还可以控制刷新速度。在后续的实验中，可以根据需要选择使用哪种方式产生信号，以及静态、动态刷新的效果。

在 LabVIEW 中，波形图和波形图表可以理解为按照一定的等时间间隔 ( $d_t$ )，绘制显示

对象的波形数据点，可以在显示设置中选择连点成线，改善视觉效果。

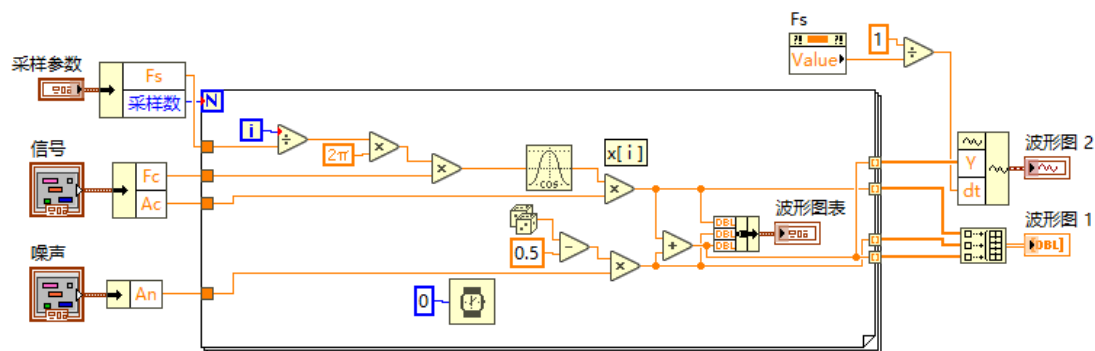


图 1-37 使用函数完成仿真

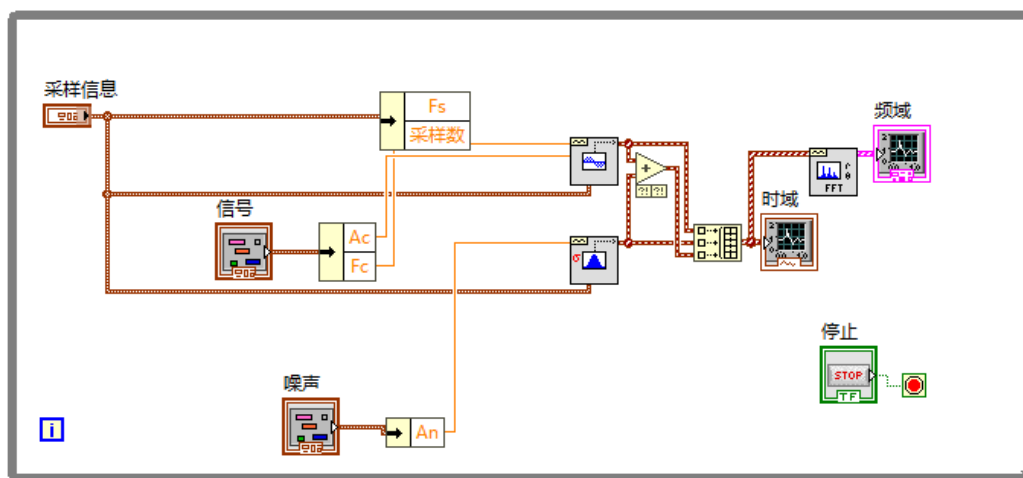


图 1-38 使用“波形发生”vi 完成仿真

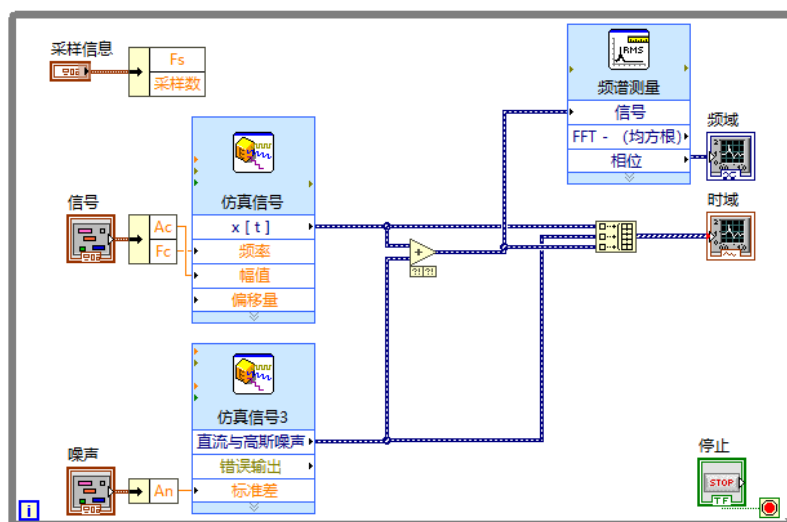


图 1-39 使用“仿真信号”vi 完成仿真

### 1.4.3 双边带幅度调制

幅度调制是一种线性调制，其特点是已调信号的频谱和基带信号（又称调制信号）的频谱之间呈现搬移关系。双边带调制是实现方式最简单的一种幅度调制，数学上它把载波信号  $c(t)$  与调制信号  $x(t)$  相乘即可得到已调信号  $x_c(t)$ 。

载波信号 $c(t)$ 的数学表达式可以是

$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \theta_0) \quad (\text{式 1-5})$$

式中,  $A_c$ 代表正弦载波的幅度,  $f_c$ 代表频率,  $\theta_0$ 代表初始相位, 虚拟仿真时一般取 $\theta_0 = 0$ 。

若调制信号 $x(t)$ 是正弦信号, 即

$$x(t) = A_m \cos 2\pi f_m t \quad (\text{式 1-6})$$

则双边带调制 (DSB) 的已调信号表达式为

$$x_c(t) = A_c A_m \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_c t \quad (\text{式 1-7})$$

在本实验中, 使用 LabVIEW 构建虚拟仿真实验系统。为了使实验结果及其呈现更接近现实, 设计了信道加性高斯白噪声 $n_c(t)$ 。带噪声的已调信号表达式为

$$z_c(t) = x_c(t) + n_c(t) \quad (\text{式 1-8})$$

该实验系统的原理框图如图 1-40 所示。

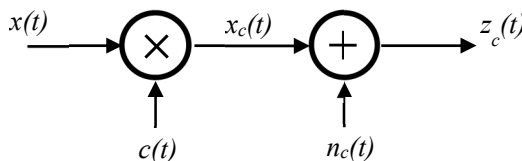


图 1-40 幅度调制端原理框图

## 1.5 实验内容和要求

### 1.5.1 实验任务 1\_1

将一个十进制数转换为二进制数组, 数组元素个数可给定, 数组的第 0 个元素为最高位。将这个程序生成子 VI, 并将子 vi 图标编辑为学生个人的姓氏。要求:

(1) 子 VI 要两个输入: 十进制数、转换后的二进制数的位数; 一个输出: 转换后的二进制数 (数组的形式)。

(2) 子 VI 可在 testbench.vi 中调用、实现相应的功能。testbench.vi 可在 CANVAS 获得, 或者从这个路径下载 <https://jbox.sjtu.edu.cn/1/21pqb3>。

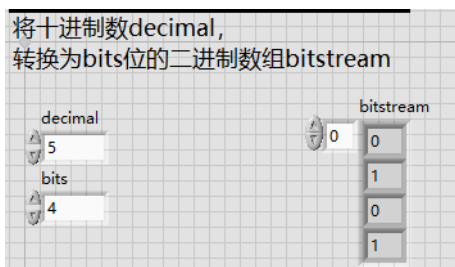


图 1-41 在 testbench.vi 中调用个人编写的十进制数转二进制程序



图 1-42 在 testbench.vi 中调用个人编写的二进制数转十进制程序

### 1.5.2 实验任务 1\_2

将一个二进制数组转换为十进制数, 数组的第 0 个元素为最高位。并将这个程序生成子 VI, 要求可在 testbench.vi 中调用、实现相应的功能。要求:

(1) 子 VI 要求有一个输入: 待转换的二进制数 (数组的形式), 一个输出: 转换后的十进制数。

(2) 子 VI 可在 testbench.vi 中调用、实现相应的功能。

### 1.5.3 实验任务 1\_3

仿照视频 08, 参考 1.4.2 中提到的实验方法, 完成一个信号加噪声的仿真系统的搭建,

可以使用函数搭建的方法实现。要求：

- (1) 前面板的布局完全按照图 1-43 设计，并得到 $f_s = 6f_c$ 和 $f_s = 1000f_c$ 时的对比波形（绘制 3 个周期），在上交的程序代码中，将 $f_s = 6f_c$ 的参数设为面板参数默认值。
- (2) 理解在仿真实验中采样率与信号频率的关系。

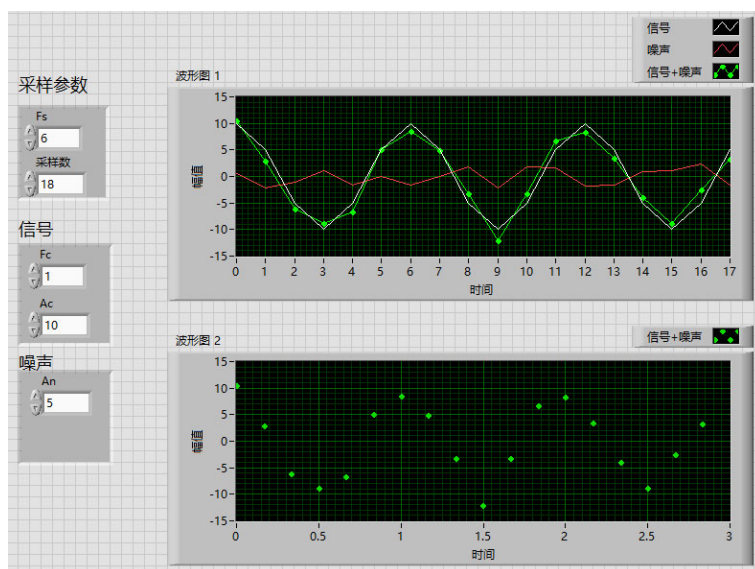


图 1-43  $f_s = 6f_c$ 时绘制 3 个周期的波形

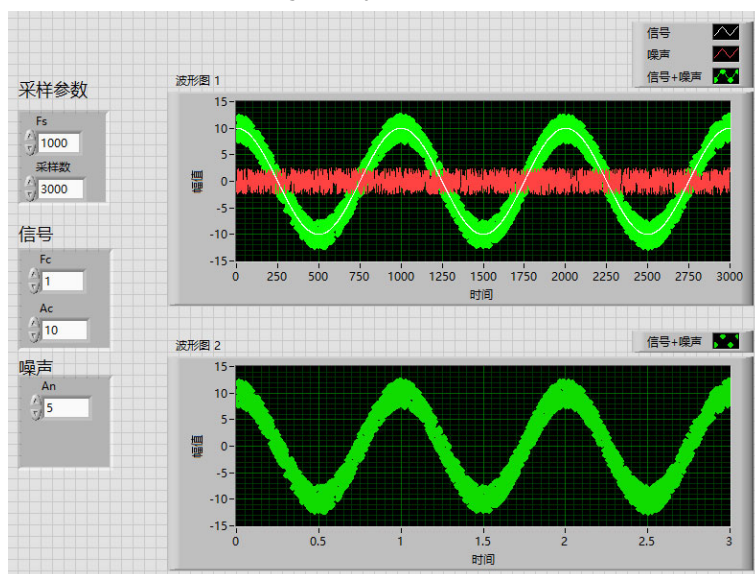


图 1-44  $f_s = 1000f_c$ 时绘制 3 个周期的波形

#### 1.5.4 实验任务 1\_4

按照 1.4.3 中的实验原理，操作完成一个实验系统的搭建，模拟产生带加性噪声的双边带已调制信号。可以使用函数搭建的方法实现。

要求：

- (1) 前面板的布局参照图 1-45、图 1-46 设计。

在前面板可以输入各项工作参数，采样频率 $f_s = 1000\text{Hz}$ ，采样数 2000，噪声幅度（高斯噪声幅度标准差）2V，调制信号频率 $f_m = 1\text{Hz}$ ，调制信号幅度 $A_m = 10\text{V}$ ，载波频率 $f_c = 20\text{Hz}$ ，载波幅度 $A_c = 1\text{V}$ 。

用选项卡控件将波形图分为两页。第一页用波形图从上至下排布分别画出调制信号、载波、已调信号，横轴（时间轴）刻度线对齐，展示调制信号 2 个完整周期波形。第二页将三



个信号绘制在一张波形图中，使用不同线型颜色使它们彼此区别，便于辨认（如图 1-46）。

（2）更改工作参数，重做（1）。

采样频率 $f_s = 300\text{kHz}$ ，采样数 600k，噪声幅度（高斯噪声幅度标准差）2V，调制信号频率 $f_m = 300\text{Hz}$ ，调制信号幅度 $A_m = 10\text{V}$ ，载波频率 $f_c = 6\text{kHz}$ ，载波幅度 $A_c = 1\text{V}$ 。展示调制信号 3 个完整周期波形，另两个信号波形图与其相应对齐。

此处操作上调整各个波形图的 X 标尺参数，请将这组参数作为面板输入参数默认值。

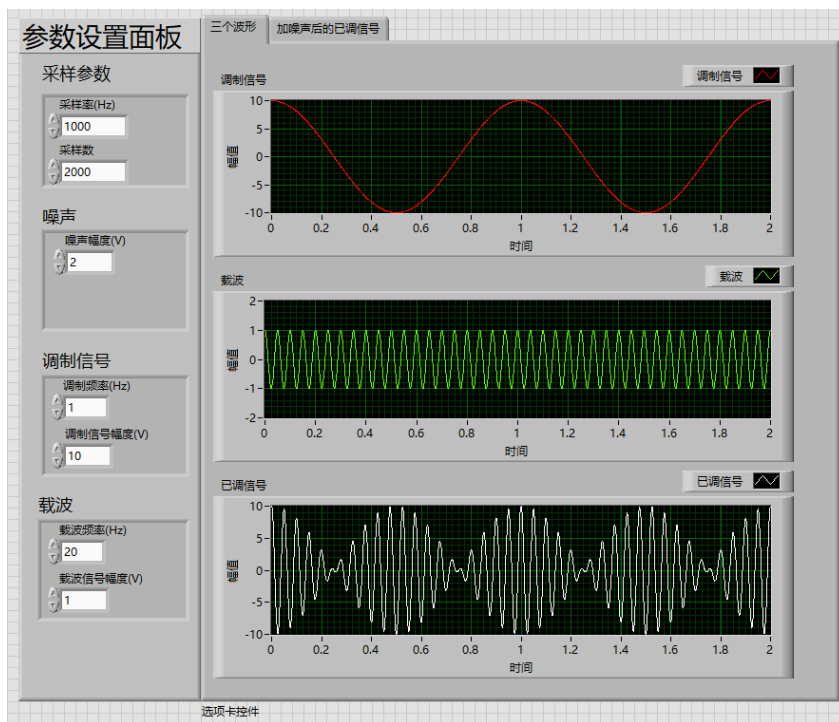


图 1-45 幅度调制端的仿真系统前面板设计

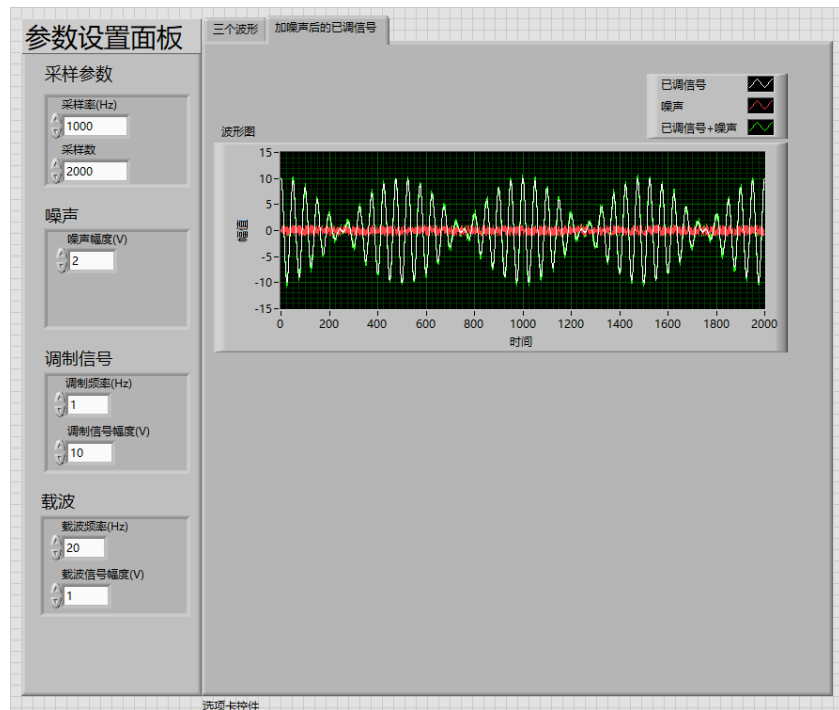


图 1-46 用选项卡控件整理前面板内容

关于上述操作，有如下提示：

- 要改变波形图中线型的颜色、绘制方式，可在波形图上点击鼠标右键/属性/曲线中修改，如有多条曲线，每条曲线的颜色、线型都可以分别设置，注意区分选择。
- “高斯白噪声波形”VI 的路径在信号处理/波形生成/高斯白噪声。
- “选项卡控件”的路径在前面板/控件选板/新式/容器/选项卡控件。
- 修改选项卡控件所在图层，可在前面板快捷工具栏下找到“移动修饰控件的图层/重新排序/移至后面”。
- 如需在前面板放置一些提示语，既可以直接在前面板空白处双击鼠标、键入文字，并在工具栏/文本设置处修改文字大小、字体；也可以找到标签工具，路径在前面板/控件选板/新式/修饰/标签。
- 修改波形图的 X 标尺，可在波形图上点击鼠标右键/属性/标尺中修改。

## 1.6 代码作业要求

对于 1.5 节的每一个实验任务，请提交一个 LabVIEW 程序（其中前两项任务是子 VI），请分别命名为“通信原理实验任务 1\_X 张三.vi”，X 代表任务号，张三为完成者姓名。将四个 VI 打包、在 CANVAS 对应入口提交，将由助教验证运行结果。

对实验任务 1\_1 和实验任务 1\_2，请在提交前验证是否可以带入 testbench.vi 中运行，检测时只在这个平台上验证结果。对于实验任务 1\_3 和实验任务 1\_4，请完全按照要求设计前面板，输入数据设置必要的默认参数，前面板的控件使用、排布、设置也是本次实验的考察项。

（李安琪 袁焱编写 2023.9.25）