

基于 LabVIEW 的特殊复杂信号源研究与设计

俞 成, 田孝华, 何 晶, 赵颖辉, 吴鹰才

(西安空军工程大学, 西安 710077)

摘要: 围绕导航通信系统的抗干扰测试需求以及对现役无线电导航系统的性能评估任务, 研究并设计了一种复杂环境下的信号源并给出了数学模型; 该信号源设计要求能够产生包括理想、多径、干扰以及信道噪声在内的、具有天线效应的实际复杂信号; 在多径延时的设置上, 给出了一种精度更高, 延时任意的信号生成方法; 最后以 PXIe-5672 为硬件测试平台, 由计算机软件 LabVIEW 产生波形数据, 并通过控制仪器驱动实现信号的存储和发生, 完成了整个信号源的设计; 仿真结果表明了该设计方案可行有效。

关键词: 信号源; 复杂信号; 延时; PXIe-5672

Research and Design of Special Complex Signal Source Based on LabVIEW

Yu Cheng, Tian Xiaohua, He Jing, Zhao Yinghui, Wu Yingcai

(School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Around the anti-jamming test requirements of the navigation and communication system and the task of evaluating the performance of radio navigation system, the paper researched and designed a complex signal source as well as the signal mathematical model. It can produce including ideal, multipath, interference and channel noise, and with the antenna effect actual complex signal. On the issue of multipath time delay, a way of arbitrary time delay was given, which has much higher accuracy. Finally on the hardware platform of PXIe-5672, with the waveform data produced by LabVIEW, the design of entire signal source is finished, which is realized by controlling instrument driver to store and produce signal. Simulation results show the feasibility and efficiency of this plan.

Keywords: signal source; complex signal; time delay; PXIe-5672

0 引言

随着现代导航通信系统结构的复杂化和信号样式的多样化, 传统信号发生器所提供的功能单一的信号已无法满足测试要求, 特别是一般的理想信号更是限制了对系统性能的评估与研究工作。在 20 世纪 80 年代, 美国国家仪器公司 (national instrument, NI) 首先提出虚拟仪器这一概念, 信号发生器也随之进入了虚拟化时代。一个完整的虚拟信号发生器由硬件和软件两大部分组成, 其中硬件主要完成数据的采集、转换、输出等功能, 而软件作为管理和控制单元则是整个系统的关键。这种“软件即是仪器”的核心思想大大提高了仪器的可编程性和灵活性, 同时又降低了成本^[1]。信号发生器的发展为仿真一些复杂环境下的测试信号提供了实现可能。本文以 NIPXIe-5672 硬件为平台, 研究并设计了一种在多径和干扰等复杂环境下的特殊信号源。

1 复杂信号格式及其数学模型

复杂信号由理想信号, 多径信号, 干扰信号及信道噪声等 4 个部分组成。多径信号的功率能在一定范围内调整, 延时能任意设定, 干扰信号的干扰样式、功率等参数能调整。

复杂信号中的理想信号为一长周期信号, 周期约为 10 s, 该信号由在时域上相互衔接的正常工作信号与台识别信号两大部分组成, 其中正常工作信号为一等幅波信号, 持续时间约为 6.75 s, 台识别信号为键控调幅波信号, 持续时间约为 3.25 s。

台识别信号能够为导航提供台站识别信息, 由“点”、“划”构成的一组莫尔斯码组成。“划”脉冲的持续时间为“点”的三倍^[2]。具体波形如图 1 所示。

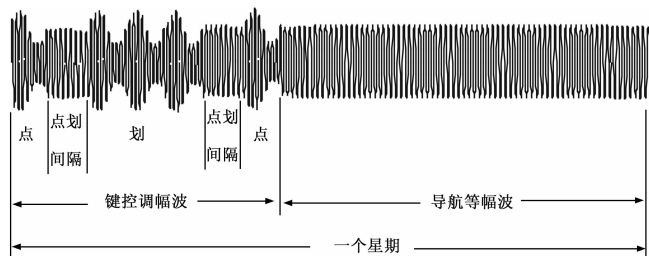


图 1 理想信号波形图

多径信号是指无线电信号从发射天线经过大气层、地表物体等障碍物反射形成的多个路径信号。其最大的影响是导致信号产生衰落和相移。本文设计的信号源包含两条多径信号, 且其相对于理想信号的延时和幅度在给定的范围内可以任意设置。

干扰信号在导航通信领域中的种类有很多, 设计中确定的干扰样式为转发式干扰和载波干扰两种, 可进行选择。转发式干扰是一种对接收到的信号经过延时和放大后再发射出去的干扰, 其延时和幅度可控且范围较大。载波干扰是通信系统常见的干扰形式, 信号格式为幅度可控的射频载波。

信道噪声的来源和表现形式有很多。本信号源采用工程上最常用的高斯白噪声, 噪声功率能任意调整。

依据上述对复杂信号的要求, 为便于编程, 建立的复杂信号的数学模型为:

$$s(t) = x(t) + a_1 x(t - t_1) + a_2 x(t - t_2) + a_3 x(t - t_3) + a_4 y(t) + a_5 z(t) \quad (1)$$

收稿日期: 2014-09-05; 修回日期: 2014-10-10。

基金项目: 国家自然科学基金(61104056)。

作者简介: 俞 成(1989-), 男, 浙江嘉兴人, 硕士, 主要从事导航信号处理方向的研究。

其中: $s(t)$ 表示复杂信号, $x(t)$ 表示理想信号, $y(t)$ 表示载波干扰, $z(t)$ 表示高斯白噪声, a_1, a_2 表示两条多径相对于直达信号的幅度, t_1, t_2 表示多径延时, a_3, t_3 分别表示转发式干扰的幅度和延时, a_4 表示载波干扰的幅度, a_5 表示噪声的幅度。

2 信号源设计与实现

2.1 复杂信号源实现的关键技术分析

在延时参数的任意设置问题上, 由于实际信号的多径延时距离至少在百米级, 相对应地延时大约为几微秒, 因此要求设计的信号源延时参数精度相对较高。传统实现方法为由计算机产生一个周期的理想信号的采样数据, 并通过在时间轴上平移这些采样点来实现延时, 最小的延迟间隔为 $1/f_s$ 秒。其优点为原理简单, 便于实现; 缺点为精度较低, 不能实现任意性。本文采用一种实时产生信号数据的实现方案。具体方法是每设置一次延时参数, 就要根据数学模型进行一次采样。在这里有两点需要注意: 1) 多径信号的采样点要与理想信号对齐, 以便于叠加成复杂信号。2) 作为一个完整的周期信号, 要把多径信号延迟时间内 N 个采样点用理想信号末尾的 N 个采样点代替。 N 的计算公式如下:

$$N = 1 + [t_d \times f_s] \quad (2)$$

其中: t_d 代表多径时延, f_s 代表基带信号的采样率, “[]”代表向下取整函数。这种做法的优点在于能实现延时参数的精确控制。下面给出了任意延时的多径信号波形生成图。

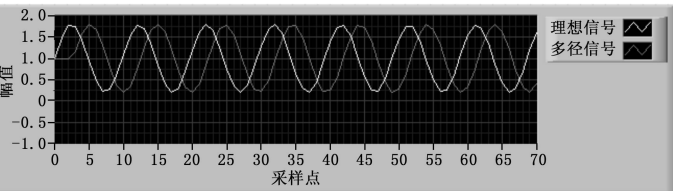


图 2 多径波形生成示意图

2.2 信号源硬件组成

复杂信号源硬件采用 NI 公司最新开发研制的射频矢量信号发生器 (RFVector signal generator) NI PXIe-5672, 射频输出范围 250 kHz 到 2.7 GHz, 输出功率从 -145 dBm 到 +10 dBm, 板载内存 256 MB, 支持 AM, FM, PM, ASK, FSK, MSK, GMSK, PSK, QPSK, PAM 和 QAM 等多种调制方式。PXIe-5672 由两个模块连接而成: NI 5442 任意波形发生器和 NI 5610 上变频器^[3]。

PXIe-5672 的工作原理可简述为: 储存在板载内存上的基带数据波形通过一定的采样率被分成 I、Q 两路送往信号处理单元并对两路数据进行插值和滤波, 使其采样率达到 100 MS/s。然后将两路信号与内部产生的正交载波混频后合成 25 MHz 的中频信号, 再通过 DAC 模拟输出。最后由 NI 5610 上变频器通过混频、滤波、放大等单元将中频信号的频率搬移到用户定义的射频段进行输出。

在这里插值的目的是对基带信号做升采样处理, 由于为了减小板载内存的存储负担, I/Q 采样率的选择在满足不失真地情况下应尽量的小, 而硬件内部的两路正交载波的采样率却高达 100 mS/s。因此只有通过插值、滤波后的基带信号才能在到达混频器时与正交载波的速率相匹配。

2.3 信号源程序设计

在 LaBVIEW 编程环境下, 程序的软件设计以框图形式进

行。作为核心部分, 它直接关系到信号源的功能与性能^[4]。整个程序包括参数设置、波形生成及信号发生三大部分。

2.3.1 参数设置

该部分由一个 While 循环实现, 其中包括理想信号、多径信号和干扰信号的延时及幅度的控制, 同时所有输入控件都能够被实时监控, 一旦超出或低于给定范围, 便弹出错误提示对话框, 要求用户重新输入。只有当所有控件输入符合要求且“运行”按钮被按下时, 程序才会结束循环。具体程序设计如图 3 所示。

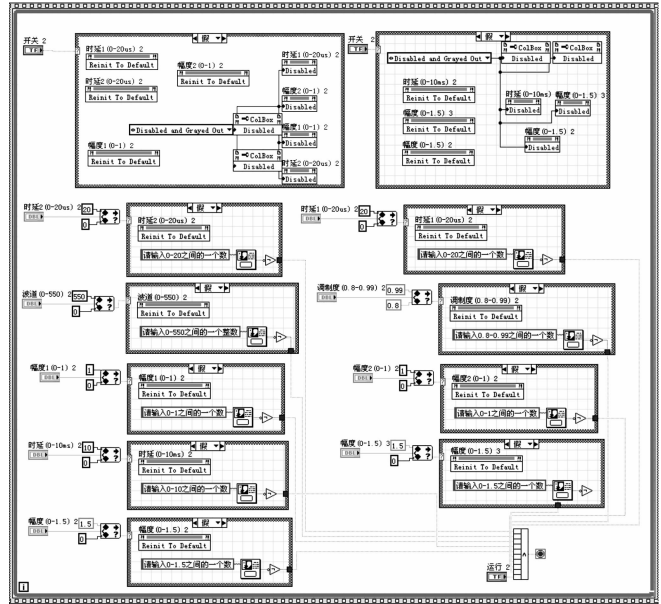


图 3 参数设置结构框图

2.3.2 波形生成

该部分负责产生复杂信号的基带波形数据。理想信号的采样率选择 10 kHz, 根据其键控的特点, 我们用若干个 for 循环分段生成数据, 最后再连接成一个整周期波形。程序设计框如图 4 所示。

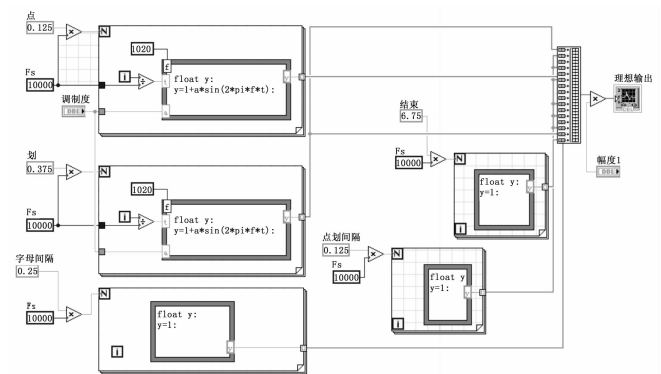


图 4 理想信号波形生成程序框图

多径信号的波形是通过延时理想信号后采样得到的, 具体的实现方法前文已做介绍, 这里不再赘述。两种干扰信号的波形生成都比较简单。转发式干扰可参照多径信号。载波干扰的基带波形是一条受幅度的控制的且平行于时间的直线, 其波形数据通过生成一个采样点个数的数组再乘以幅度系数得到。信道噪声通过调用函数选板中的“高斯白噪声”控件直接

得到。

因此，把上述各信号分量波形数据叠加起来就能生成复杂信号波形，并将此设计成一个子 VI 以便于后续的信号存储和发生。

2.3.3 信号发生

该部分主要实现实际信号发生功能。计算机首先根据用户设置的参数产生复杂信号的基带波形数据，而后送入 PXIe-5672 硬件进行真实信号的发生。

为了开发 PXIe-5672，NI 公司专门提供了一套驱动程序 NI-RFSG^[5]。它包含有一系列的标准函数用于仪器的启动、配置、控制和终止等。设计框图包括 3 个组成部分，具体结构图下图 5 所示。第一部分的主要功能是开启 PXIe-5672 的仪器句柄，设置射频频率（波道）、波形产生模式以及 I/Q 采样速率，并将子 VI 产生的数据根据调制模式分成 I、Q 两路送入板载内存。本文选择复杂信号的射频频率在 250~800 k 之间，即波道的划分范围为 0~550，波形产生模式为“Arb Waveform”，I/Q 采样率设为 10 kS/s；第二部分的主要功能是通过调用驱动控件来开启信号发生，并显示实际的输出射频频率；第三部分的主要功能是检查信号发生状态。在这里，我们调用一个 While 循环和一个延迟控件来以一定的频率重复检查仪器工作，一旦出现错误便停止信号发生。程序运行过程中错误报告的显示是实时进行的，这有利于仿真过程中程序的修改以及实际运行过程中错误来源的定位和处理。

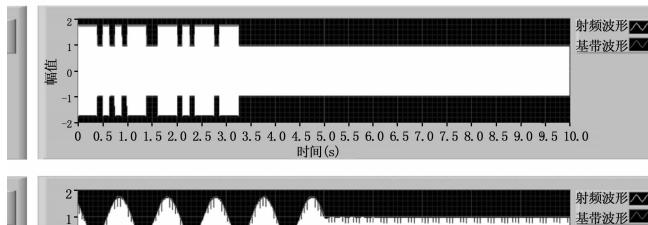


图 5 信号发生结构框图

2.4 信号源人机交互界面设计

界面的设计应当力求简洁、大方，方便用户设置信号参数和控制硬件设备。LabVIEW 图形化编程环境用户提供了快捷且人机界面十分友好的面板控件^[6]。

为了便于用户观察生成的复杂信号，信号源界面上专门提供了一片区域用于基带波形显示，并通过控制显示控件的属性节点来模拟一个示波器的功能。此外，多径和干扰的有无也可由两个开关控件直接控制，方便理想信号的直接生成。

3 仿真测试

最后，对整个程序进行了仿真测试。由于实际射频输出频率太高，不易仿真，因此我们选择射频载波频率为 50 kHz（远大于理想信号带宽）。理想信号的参数设置如下：调制度 0.8，功率 -20 dBm，仿真波形如图 6~7 所示。

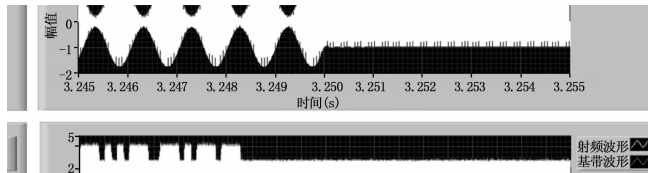


图 6 理想信号仿真结果

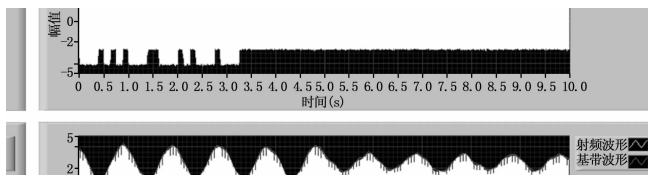


图 7 理想信号仿真结果图（局部）

0.1，第二条多径延时 20 μs ，幅度 0.2；转发式干扰延时 8 ms，幅度 1.0；载波干扰幅度 0.2；信道噪声幅度 0.05。仿真波形如图 8~9 所示。

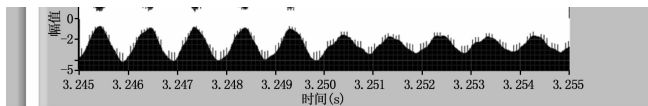


图 8 复杂信号仿真结果

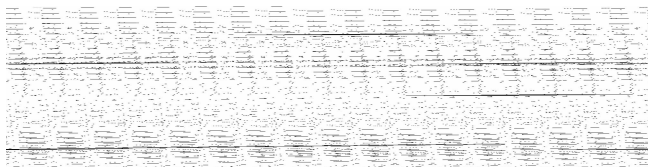


图 9 复杂信号仿真结果图（局部）

仿真结果表明：相比于理想信号，复杂信号的波形明显受到多径、干扰和噪声的影响，且各参数的控制符合信号源设计要求。此外，在仿真信号发生过程中没有错误报告，表明所有驱动程序连接符合逻辑，设计方案可行有效。

4 结束语

本文首先给出了复杂信号的数学模型，然后在 LabVIEW 软件中生成复杂信号的波形数据，最后送入板卡 PXIe-5672 进行射频输出。研究与设计复杂信号源的主要意义在于：1) 为现代导航通信领域一些复杂环境下的测试信号源提供了一个可行的设计思路；2) 复杂信号的基带实现简化了信道模型，大大降低了硬件成本；3) 优化了传统多径信号的实现，给出了一种任意延时的多径波形生成方法。同时，我们可以看到 LabVIEW 图形化编程语言可读性强，人机界面友好，能有效地缩短软件开发周期。

参考文献：

[1] 王志广, 崔佩佩. 基于 PXIe-5641R 板卡中频地物杂波信号源设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, (21): 1621-1624.
 [2] 吴德伟, 赵修斌, 田孝华. 航空无线电导航系统 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
 [3] National Instruments Corporation. NI RF Signal Generators Help [Z]. 2012.
 [4] 张大彪, 于化龙. 基于 LabVIEW 的调频连续波雷达仿真信号源的设计 [J]. 仪表技术与传感器, 2006 (1): 52-53.
 [5] National Instruments Corporation. RF Application Development Course Manual [Z]. 2006.
 [6] Travis J, Kring J. LabVIEW 大学实用教程 (第三版) [M]. 乔瑞萍, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2008.

复杂信号参数设置如下：第一条多径延时 15 μs ，幅度