

可接入射频半实物的试验数据转换系统设计与实现

何 漫, 崔毅楠, 张 恒, 刘 佳, 解洪文

(中国运载火箭技术研究院 研究发展中心, 北京 100076)

摘要: 分布交互式仿真试验系统的建立, 带来了射频半实物仿真设备和数学仿真系统互连互通的需求; 为解决异构数据的转换问题, 设计了一套可接入射频半实物的试验数据转换硬件系统, 通过系统中射频信号发生模块、中频数据回放设备、试验数据采集处理设备、数模转换模块、高速数字 I/O 模块和异构网络环境试验数据转换软件模块完成高频信号与数字仿真系统可用文件的相互转换; 文章详细介绍了该系统各个模块的硬件架构和实现方法, 并通过试验测试给出了测试结果, 证明了通过该系统可以将射频半实物接入并实现其数据与数学仿真系统的相互利用。

关键词: 射频; 数据转换; 硬件系统

Design and Implementation of a Hardware System for Test Data Conversion for RF Hardware—in—the—Loop

He Man, Cui Yinan, Zhang Heng, Liu Jia, Xie Hongwen

(Research & Development Center, China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: The application of RF hardware—in—the—loop in simulation demonstration system brings the need for the interactions between RF hardware—in—the—loop devices and mathematical simulation platform and other hardware—in—the—loop devices. To resolve the issue of the mutual usage of software and hardware simulation test data, a hardware system for the test data conversion for RF hardware—in—the—loop was designed. The conversion between the high frequency signal and digital simulation system can be accomplished by RF signal generator, data playback equipment, data acquisition and processing equipment, DA conversion module, high speed digital I/O module and software module of test data conversion in heterogeneous network environment. The hardware architecture and implementation of each module of the system are introduced in detail, and test results are presented, which proves the system can be used to achieve the interaction between the RF and the mathematical simulation system.

Keywords: RF; data conversion; hardware system

0 引言

半实物仿真演示验证系统中包含了大量异构仿真模型^[1], 且要求强实时性。随着半实物仿真演示验证系统在各导弹武器研制试验过程中的推广, 对射频级半实物, 如半实物雷达等试验设备的接入提出了新的需求。可接入射频半实物的试验数据转换硬件系统(以下均简称试验数据转换系统)可对射频半实物设备产生的试验数据进行统一的采集、转换、传输、交互与管理, 支持射频半实物的实时/非实时仿真试验应用。

1 系统总体结构及原理

试验数据转换系统的总体架构如图 1 所示。

系统包括射频信号发生模块、中频数据回放设备、试验数据采集处理设备、数模转换模块、高速数字 I/O 模块和异构网络环境试验数据转换软件模块。该系统的实现过程为, 射频信号发生模块根据射频信号远程控制设备指令产生射频信号, 射频信号作用于试验设备产生所需要的各类高频试验信号, 试验数据采集卡负责采集模拟数据, 由模数转换模块将试验数据统一转换为数字信号数据; 或者接受试验设备产生的数字信号, 由高速数字 I/O 模块输入试验数据采集处理设备, 然后经过异构网络环境试验数据转换软件模块将这些不同的数据进行转

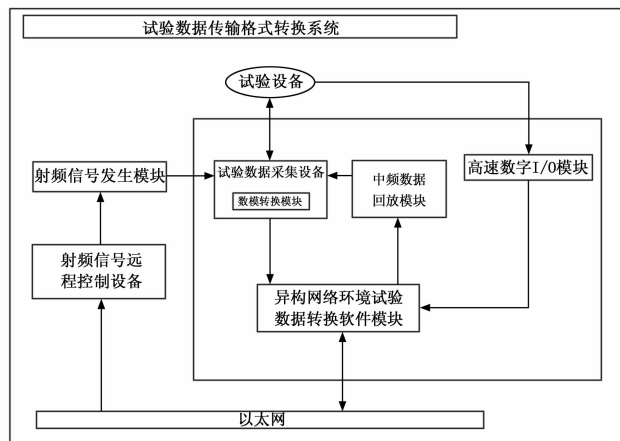


图1 试验数据转换系统总体架构图

换, 通过软硬件接口模块接入数学仿真系统。

2 系统硬件设计

2.1 射频信号发生模块

射频信号发生模块^[2]共分为两个波段: S波段和X波段, 主要完成这两个波段的射频信号的上、下变频。

S波段射频信号发生模块整体设计如图2所示。

X波段射频信号发生模块具体设计如图3所示。

2.2 中频数据回放设备

中频数据回放设备^[3]主要由D/A中频数据回放卡和管理

收稿日期:2015-09-24; 修回日期:2015-12-08。

作者简介:何 漫(1985-),女,湖北潜江人,硕士研究生,主要从事系统仿真方向的研究。

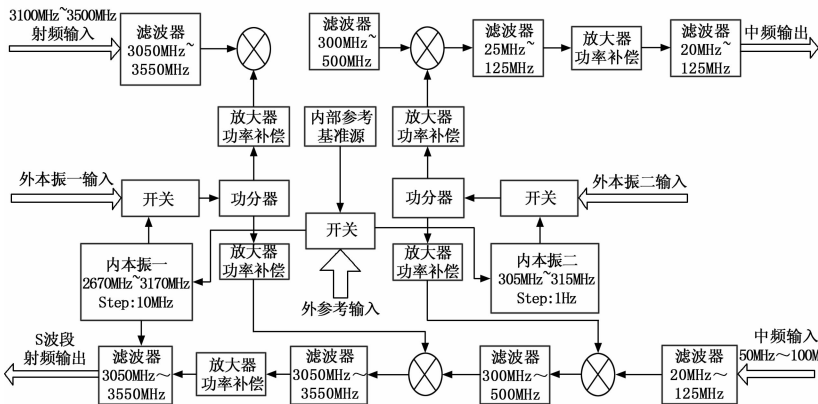


图 2 S 波段射频信号发生模块具体设计框图

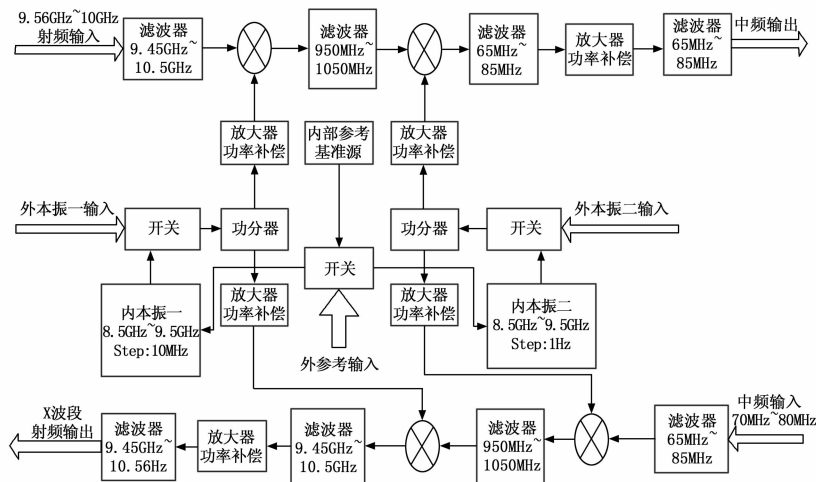


图 3 X 波段射频信号发生模块具体设计框图

控制回放卡的应用程序来实现，D/A 中频数据回放卡完成对基带信号的数字上变频和数据回放，生成中频信号；再送给射频信号发生模块，对中频信号进行上变频至射频信号。

产生中频信号的数据为基带复序列数据，可来源于存储介质，也可由算法产生。转换为统一的回放设备数据，然后进行高速内插和正交调制，从而可实现任意波特率的信号波形产生。通过增益控制模块调整输出信号电平、通过频率调整模块调整输出信号的载波频率。经 DA 和模拟滤波后产生任意频率的中频模拟信号。

本系统为实现多种调制、不同波特率、电平可控、任意中频频率可调的要求，硬件平台设计采用一个通用、可编程的硬件架构，通过软件编程来实现多种功能，采用目前业内较先进芯片构成的系统硬件，满足未来高速信号的回放要求，具备良好的可扩展性。出于对数据处理能力上的考虑，本系统在设计数据回放卡时，采用 DDS + FPGA + DSP 结构，充分利用 DDS、FPGA 与 DSP 在数据运算与处理上的特点，做到优势互补。整个系统的功能实现方案如图 4 所示（以单通道为例）。

对 D/A 中频数据回放卡的管理和控制为运行于 PC 机上的应用程序，实现对基带信号的数字上变频和数据回放，生成中频信号。应用程序处理流程如图 5 所示。

应用程序的主要功能包括：状态监视、DDS 设置、DMA 传输和回放控制等，按照模块化的设计思想，设置了以下几个

功能模块。

1) 初始化模块：负责参数的初始化、资源的申请、驱动程序初始化、AD9957 控制寄存器初始化和相关线程的创建。

2) 回放数据流的格式转换及传输模块：主要包括两部分。一是将记录的数据格式转换为符合 DDS 输入规范要求的数据格式；二是采用多线程及 DMA 技术实现 PC 与硬件之间的高速数据传输。

3) 回放控制模块：回放控制模块控制 FPGA 中 FIFO 的写使能和 AD9957 的使能信号以启动或者停止数据回放。

4) DDS 配置模块：根据用户输入配置 AD9957 的配置寄存器以使 AD9957 工作在不同模式。

2.3 试验数据采集处理设备、数模转换模块、高速数字 I/O 模块

试验数据采集处理设备^[4]包含一套数据采集卡和数据处理软件。可以由 PC 机来实现，接收数据采集卡采集到的试验数据，提供图形化的数据分析、信号处理和仪器控制开发环境。

试验数据采集卡用于实时试验数据采集。将各试验设备产生的数模信号统一采集，保证该模块能够进行多路信号同时采集，保证全系统的实时性。试验数据采集卡安装在实验数据采集处理设备，支持基于 PCI 的数据交换和大容量采集数据的缓存处理。

数模转换模块用于采集模拟数据，将试验中的模拟信号数据统一转换为数字信号数据。由自行研制的基于 PCI 总线的试验数据采集卡来完成，模拟信号的采集可接入试验数据的特点，试

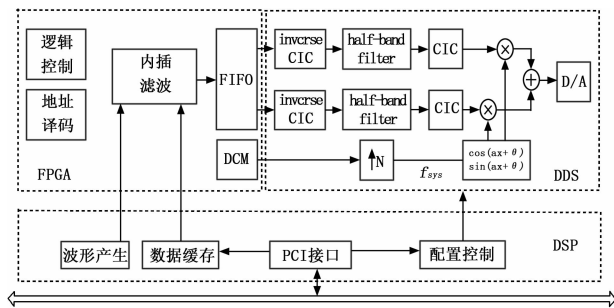


图 4 数据回放设备功能实现方案

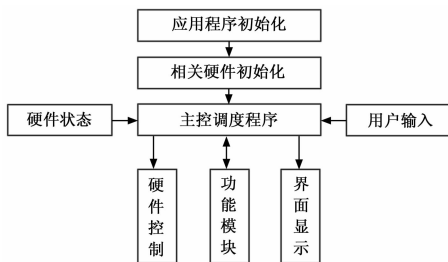


图 5 应用程序处理流程

验数据采集卡上留有与数模转换模块、高速数字 I/O 模块的接口，可以通过数模转换模块、高速数字 I/O 模块来完成模拟信号或数字信号的采集。

高速数字 I/O 模块用于接受数字信号, 支持多通道高速率的采集方式, 并应具有多通道存储空间使得大量数据的处理更加可靠。

试验数据采集卡、数模转换模块、高速数字 I/O 模块可以做到一块高速数据采集 PCI 卡上, 工作原理如图 6 所示。

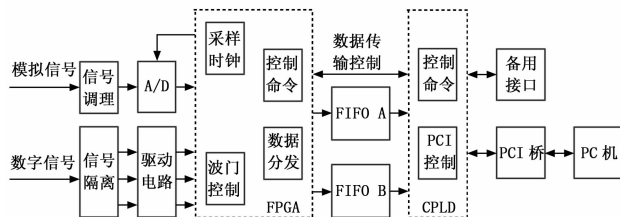


图 6 基于 PCI 总线的试验数据采集卡工作原理

2.4 异构网络环境试验数据转换软件模块

本系统的试验数据转换软件模块为运行于 PC 机上的应用程序, 完成对采集到的中频数据的数字下变频处理, 生成基带信号, 进行格式转换, 并保存采集数据文件。

应用程序通过驱动程序与硬件板卡通讯,向 PCI 卡传送各种命令字,接收采集到的数据。信号采集系统是在后台软件的操作下进行工作的,软件设计的原则是实用、操作界面友好,目的是把硬件控制 and 数据分析紧密地结合在一起。软件的工作流程如图 7 所示。

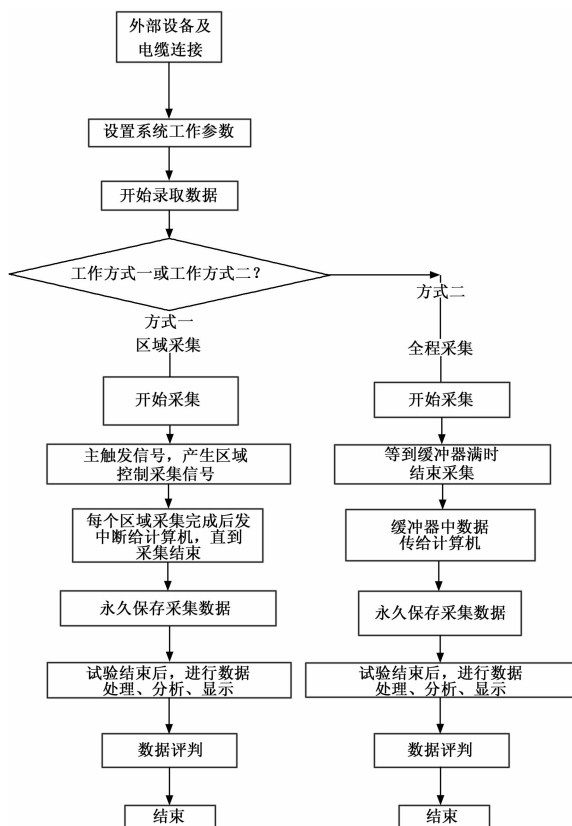


图 7 数据采集软件的工作流程图

系统所有的操作基本上由软件来控制, 由数据库、参数设置、数据采集、数据分析、帮助等几个模块构成。

数据分析包括数据库操作和采集数据分析 3 个模块。

数据库操作包括对多次试验的数据进行查询、修改, 查询的条件可以根据雷达型号、试验日期、环境参数等条件进行分类查询和比较。

采集数据分析又分为实时分析和事后分析两个部分。

实时分析主要以图形方式显示采集到的原始数据, 显示 FFT 谱, 并能以一定的分辨率显示 PPI 图像。

事后分析主要是将数据转存为 Matlab 软件的数据格式, 由 Matlab 软件对数据进行更进一步的分析。

3 实验测试

为了验证该套系统针对射频半实物试验设备接入以及数据转换的有效性和准确性,本文进行了完整的系统测试。本次试验目的是将某半实物设备产生的S波段模拟信号进行解调并将解调结果存储为二进制文件供其它数学仿真系统使用。首先,利用射频信号远程控制设备的设置界面,设置射频发生器将要输出的信号频率,如图8所示。



图 8 射频信号发生模块的配置界面

当成功设置并产生射频信号后, 该软件界面会返回 ok 指示符, 并利用惠普 8563E 频谱分析仪对射频信号发生模块进行了测试, 如图 9 所示, 可测到 3.1 GHz, -33 dBm 的一个峰值频点。

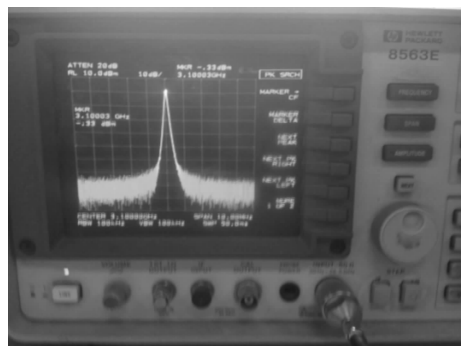


图 9 射频信号发生模块的频谱仪输出画面

该射频信号与某半实物设备的输出信号混频后, 经由试验数据采集处理设备得到中频信号, 并利用采集设备的软件进行绘制, 如图 10 所示。

异构网络环境试验数据转换软件模块将采集到的中频数据进行数字下变频处理,生成基带信号,进行格式转换,并保存

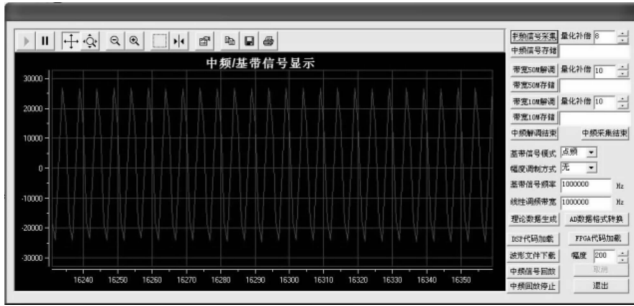


图 10 试验数据采集设备的中频采集测试 (采集工作状态)



图 12 二进制数据文件存储测试

采集数据文件,如图 11,图 12,成功转换的二进制文件可被其它数学仿真系统利用。经测试,该套设备可以正常工作并输出预定结果,实现了射频半实物设备与数学仿真系统的连接。

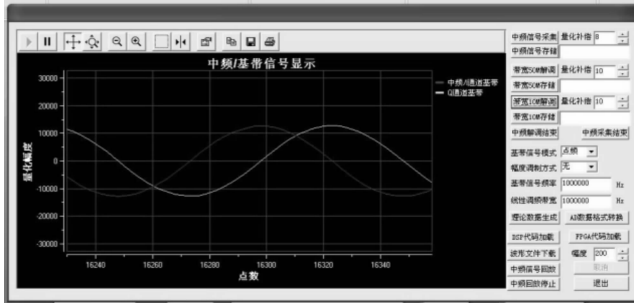


图 11 试验数据采集设备的解调测试 (解调工作状态)

4 结束语

本文首先介绍了可接入射频半实物的试验数据转换硬件系

统的应用背景,系统的总体结构和运行原理,然后可接入该套系统的各功能模块进行了硬件和软件设计的详细说明,最后根据应用需求对该套系统进行了深入的测试并得到了该套系统有效可靠的测试结论。该套系统目前仅覆盖 S 和 X 波段,为了进一步完善设计还可以补充射频组件以扩展频率覆盖范围,还可以开发更多常用硬件接口接入方式如串口、1553B 等。

参考文献:

- [1] 张中伟. 军事通信系统半实物仿真技术研究 [J]. 计算机与网络, 2007 (10): 43-45, 48.
- [2] 黄雅峰, 魏国华, 刘 娟. 一种实时射频半实物仿真技术设计与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2012 (5).
- [3] 陶长兴, 关济实, 王建迎, 等. 模拟板件测试系统数据回放软件的设计与实现 [J]. 仪器仪表用户, 2012, 19 (3): 63-65.
- [4] 刘宇鸿, 蒋留兵, 车 俐, 等. 基于 FPGA 的数据采集与回放系统设计 [J]. 桂林电子科技大学学报, 2015, 35 (1).

(上接第 125 页)

余设置使得定位过程更加准确可靠, 粒子滤波善于处理非线性问题且定位精度较高。

参考文献:

- [1] 刘晶鼎. 采用加速度传感器导航实现盲区定位的研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [2] Do D M, Hyun M H, Choi Y B. RFID-Based indoor location recognition system for emergency rescue evacuation support Grid and Pervasive Computing [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2013: 899-906.
- [3] 张世哲. 基于惯性传感器和 WiFi 的室内定位系统的设计与实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [4] Al-Ammar, Mai A, Alhadhrami, et al. Comparative survey of indoor positioning technologies, techniques, and algorithms [A]. Cyberworlds (CW), 2014 International Conference on IEEE [C]. 2014: 245-252.
- [5] 余 熙, 张天骐, 白 娟, 等. 改进的粒子滤波算法 [J]. 计算机工程与设计, 2012, 33 (10): 4009-4014.
- [6] Retscher G. An Intelligent Personal Navigator Integrating GNSS, RFID and INS Geodesy for Planet Earth [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2012: 949-955.
- [7] Do-Xuan T, Tran-Quang V, Bui-Xuan T, et al. Smartphone-based pedestrian dead reckoning and orientation as an indoor positioning system [A]. 2014 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC). IEEE, 2014: 303-308.

- [8] Asano S, Wakuda Y, Koshizuka N, et al. Pedestrian dead-reckoning unit for navigation system using mobile device [A]. 2012 IEEE 1st Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) [C]. 2012: 530-534.
- [9] Lan K, Shih W. Using smart-phones and floor plans for indoor location tracking [A]. IEEE Transactions on Human-Machine Systems [C]. 2014: 1-11.
- [10] Fujii M, Ogawara R, Hatano H, et al. A study on position tracking system for pedestrian navigation using location and sensor information [A]. 2013 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), 2013.
- [11] Feliz R, Zalama E, J G Garcia-Bermejo. Pedestrian tracking using inertial sensors [J]. Journal of Agents, 2009, 35-43.
- [12] Lei F, Antsaklis P J, Montestruque L A. Design of a wireless assisted pedestrian dead reckoning system-the Nav Mote experience [J]. Instrumentation and Measurement, 2005, 54 (6): 2342-2358.
- [13] 宋远峰, 刘新. 基于 RFID 的定位系统综述 [J]. 数字通信, 2013, 40 (4): 9-13.
- [14] Honkavirta V, et al. A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods [A]. WPNC 2009. 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication [C]. IEEE, 2009: 243-251.
- [15] Gordon N, Ristic B, Arulampalam S. Beyond the Kalman filter-particle filters for tracking applications [J]. IEEE Trans. of Aerospace & Electronic Systems, 2004.