

嵌入式控制 应用案例

关键技术

建模工具的选择

从应用的角度看，模型既可以进行全数字离线仿真，也可以进行半实物实时仿真；从研究对象本身来说，现在的系统基本上都是机电液，外加控制的多领域耦合系统。所以建模工具的选择需要从以下几个方面考虑：

不同建模工具之间支持交互仿真。由于当前的研究对象基本都是多领域耦合系统，而建模工具往往只某一个领域内比较擅长，比如Matlab/Simulink/Stateflow擅长于控制系统的建模，而Amesim适合液压系统的建模，JMAG适用于电力电子的建模等等。采用不同的建模工具构建系统不用部件的模型，工具之间可以提供如S-function或FMU之类的交互仿真接口实现系统的全数字离线仿真。

所建模型可以生成C/C++或HDL代码，并且可以在实时仿真机的CPU或FPGA上运行。一般情况下算法模型的构建会采用Matlab/Simulink/Stateflow。采用该工具的优势在于构建的模型可以直接生成代码用于快速原型验证，且所有的实时仿真系统都支持该软件的模型下载功能。同时验证后的模型可以直接生成产品级嵌入式代码用于实际的控制器中。而对于本题对象模型的构建，不同的领域采用不同的工具，当前很多工具也都可以生成C/C++代码，如Amesim，Dymola等等。



快速原型与半实物仿真测试

系统框架

从快速原型和半实物仿真测试平台来看，这两者虽然在开发过程中所处的阶段不同，但是实际用到的工具都很类似，包括了模型，实时仿真机等，如下图所示是快速原型或半实物仿真测试平台的基本系统构架图。

整个系统包括了四个层次：人机交互层，模型实时仿真层，信号接口层和实物层。系统中采用了NI的实时仿真机作为核心系统；根据需要研究的目的和对象选取合适的建模工具构架模型并下载到实时仿真机上运行；通过信号接口层与实际连接，如果是做快速原型验证，则可以接被控对象实物，如果做半实物仿真测试，则可以接控制器。

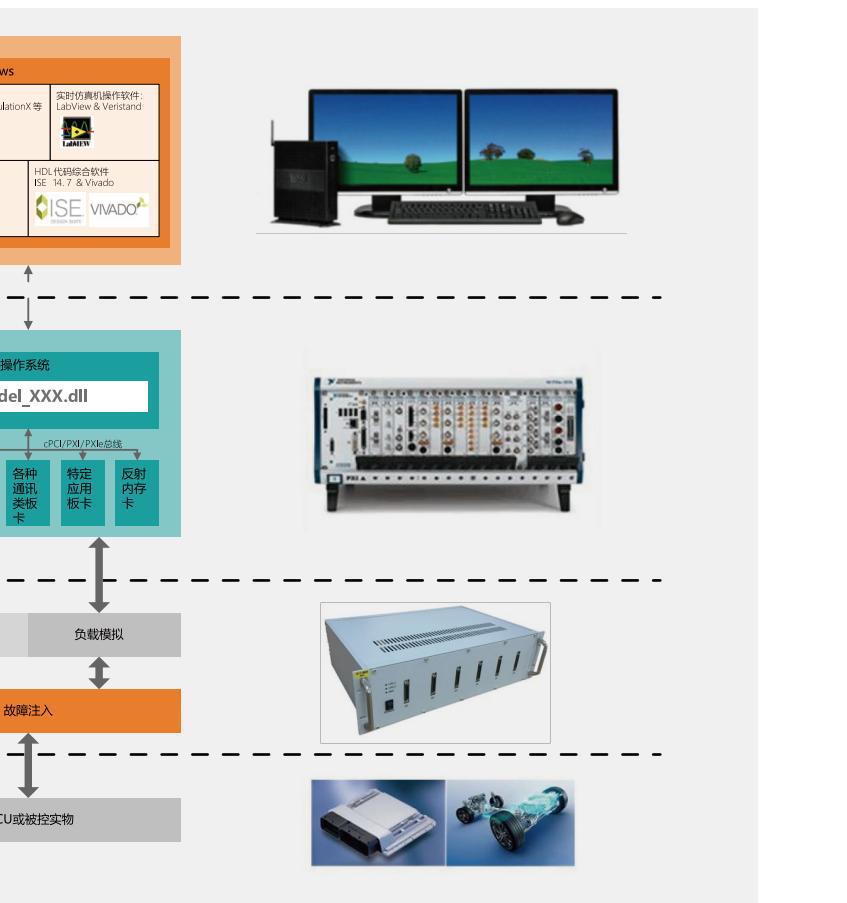


图1-1 系统架构图

案例三 飞控半实物仿真测试平台

飞控半实物仿真测试平台由3个工作站、控制柜、通用型下位机、适配箱、综合控制柜、飞行控制与管理计算机、电源组成，系统原理图如下图所示。飞控半实物仿真测试平台实现以下功能：飞控分系统半物理仿真试验、飞控软件系统级测试、飞行剖面仿真试验、与飞管分系统关联的故障复现仿真验证试验。

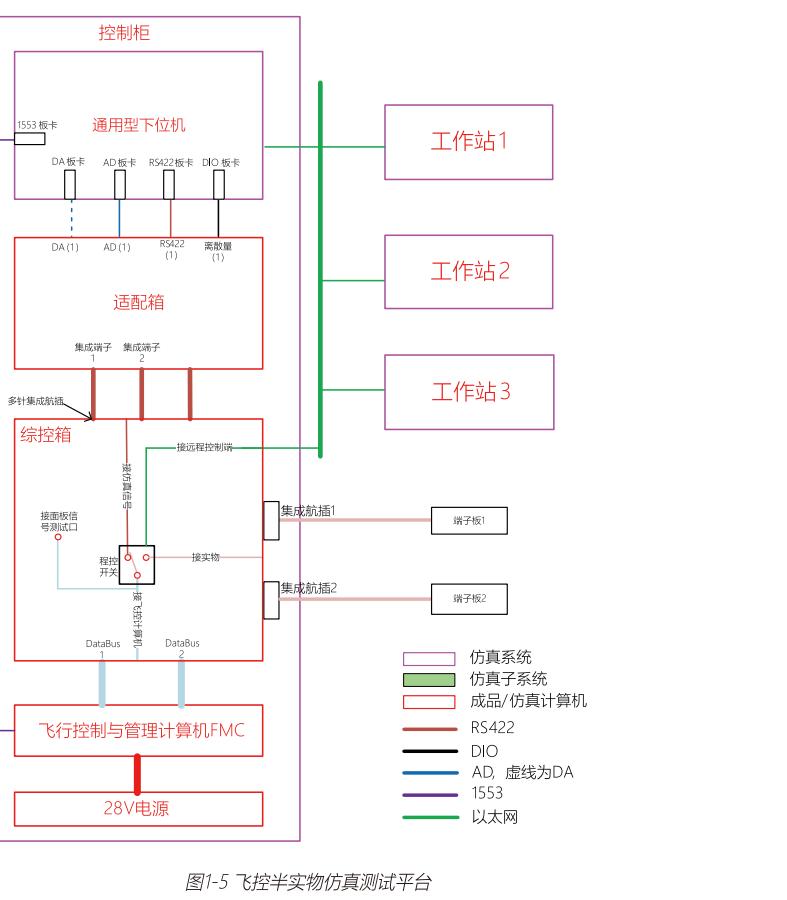


图1-5 飞控半实物仿真测试平台

- 工作站：**工作站实现系统上位机功能，完成系统状态监控、数据存储和离线数据分析；
- 控制柜：**控制柜中放置下位机、调理箱、综控柜、电源、飞管计算机等设备；
- 通用性下位机：**实现模型实施仿真和数据处理；
- 调理箱：**实现信号的电压匹配和隔离；
- 综控柜：**完成实际测量通道和模拟通道的远程切换，能够通过各路信号的检测点进行测量；
- 电源：**实现整个控制柜的电源供给和分配，包括交流和直流电源；



图1-6 飞控半实物仿真平台实物图

应用案例

案例一 电机快速原型开发平台

电机快速原型平台采用CCEO RapidController的系统构架。电机的控制算法可以采用Matlab/Simulink /Stateflow建模，同时直接下载到电机快速原型开发平台上验证电机的控制算法。该电机快速原型平台已经成功应用于多个控制系统的算法开发中。如下图所示

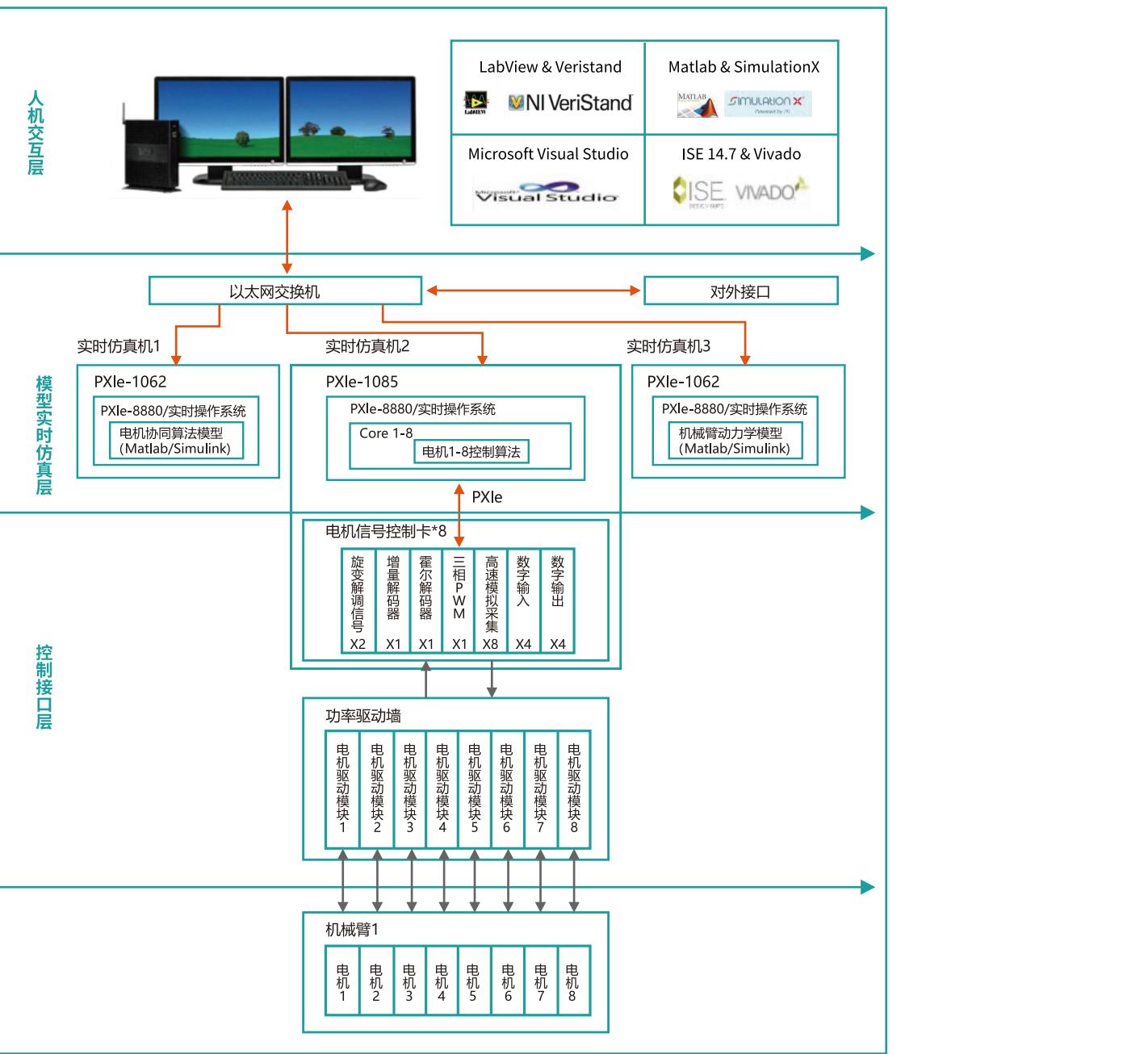


图1-2 电机快速原型平台系统架构

人机交互层。该层的作用主要是建模离线仿真->测试验证->自动代码生成->代码测试。人机交互层只需要普通计算机即可，在计算机上安装Windows操作系统，并安装Matlab/Simulink/Stateflow建模软件、Labview和Veristand等实时仿真机运行管理相关软件和PolySpace、QAC等代码测试软件，具体的作用如下描述：

模型构建和离线仿真。

选择建模工具需要考虑两个方面：建模的方便性，工具可以提供很多可以资源，方便模型的构建；模型可以生成C/C++或HDL代码，可以在仿真机的CPU或FPGA上实时运行。一般情况下算法模型的构建会采用Matlab/Simulink/Stateflow。采用该工具的优势在于构建的模型可以直接生成代码用于快速原型验证，且所有的实时仿真系统都支持该软件的模型下载功能。同时验证后的模型可以直接生成产品级嵌入式代码用于实际的控制器中。

实时仿真机控制和管理。

在构建完模型后，需要将模型放到NI的实时仿真机上运行。Matlab可以将自身的模型生成dll，NI提供了Veristand软件，该软件可以调用生成的dll，同时可以将模型中的输入输出与硬件端口和通讯协议绑定，同时自动将dll部署到实时仿真机上运行。实时仿真层与用户交互层之间通过以太网即可完成模型部署和各种数据的交互工作。

产品级代码自动生成。

通过快速原型验证过的模型，可以采用Simulink Coder生成产品级代码。由于离线仿真和快速原型验证的模型都是浮点运算，而产品级代码，包括C/C++和HDL代码可能是定点运算，所以在生成代码之前需要将模型定点化，随后进行仿真确定由于定点化后可能出现的计算溢出和量化误差问题。同时，针对不同的芯片可能需要对生成的代码进行优化，所以生成的产品级代码还具有定制化的特点。

代码测试。

在生成代码之后，原则上讲已经是没问题了，但是为了符合一些企业的流程，可以采用诸如PolySpace、QAC等软件对代码进行静态和动态测试，使代码的可靠性进一步提高。

实时仿真层由基于NI PXle总线的实时仿真机组成，该仿真机的作用在于实时计算Simulink模型，具体的功能作用如下：

模型实时计算。

该系统中采用美国国家仪器公司（National Instrument, NI）的实时仿真机。仿真机都配置了八核的CPU处理器PXle-8880，保证模型计算的高实时性，最小仿真步长可以小于50us，在极限情况下可以达到10us。CPU中安装了成熟稳定的实时操作系统，同时背板总线采用cPCI/PXI/PXle，具备非常好的通用性和开放性，可以支持任意第三方的硬件。该实时仿真机在各行各业都应用广泛，技术成熟度高。

电机控制卡集成。

NI实时仿真机提供了第三方开发接口，用户可以根据NI提供的使用说明，将自己研制或购买自第三方的cPCI/PXI板卡集成到实时仿真系统中。集成之后也可以通过仿真机管理软件Veristand进行管理和调用。由于NI公司本身不提供电机控制卡，该卡由本公司自主研发，并集成到NI仿真机中。

控制接口层的作用是通过各种信号调理和板卡，采集传感器信号作为实时仿真层模型的输入；同时将实时仿真层计算得到的输出信号，通过各种板卡输出，控制伺服电机的运行。如图所示，控制接口层的功能包括：

交流电机控制。

交流电机控制采用自研的电机控制卡，该卡可以满足一个电机的控制信号，同时配合电机驱动，即可对交流伺服电机进行控制了。本系统中配置了三块伺服电机控制卡。

步进电机控制。

步进电机控制同交流伺服电机。

CAN总线通讯。

CAN总线通讯的实现是配置了NI公司的CAN总线通讯板卡，该板卡可以满足CAN2.0A/B协议。

RS232通讯。

配置了NI公司的串口通讯卡，该卡可以满足标准的RS232通讯接口。

其他信号采集。

为了满足一些其他信号的采集，还配置NI公司的通用信号采集卡，同时配置了信号调理，以满足各种电气信号接口。

遥控系统。

遥控系统的实现是配置了NI公司的CAN总线通讯板卡，该板卡可以满足CAN2.0A/B协议。

实验场景一：实时AOCC模拟系统与实时仿真子系统连接组成闭环系统。

配置了NI公司的串口通讯卡，该卡可以满足标准的RS232通讯接口。

实验场景二：姿轨控计算机与实时仿真子系统连接组成闭环系统。

依据这来两种实验的场景，系统中各部分的具体功能和要求如下所述：

(1) 实时AOCC模拟仿真系统

- 在实验场景一中实时AOCC仿真模拟系统须替代姿轨控计算机，因此实时AOCC仿真模拟系统需要与姿轨控计算机的输入输出电气特性接口完全一致；
- 实时AOCC仿真模拟系统的核心是实时AOCC模拟目标机；
- 由于目标机与实际的姿轨控计算机电气特性不能完全一致，必须外加信号调理；
- 此外，考虑到实际的姿轨控计算机信号有可能会变，所以外加一个配线箱以适应可能的型号变化。

(2) 实时仿真子系统

- 实时仿真子系统的核心是一台实时仿真子系统目标机；
- 由于目标机与实际的姿轨控计算机需要连接，必然有电器特性不匹配问题，必须外加信号调理；
- 此外，考虑到实际的姿轨控计算机信号有可能会变，所以外加一个配线箱以适应可能的型号变化。

(3) 地面模拟星务遥控系统

- 地面模拟遥测遥控系统主要任务包括：模拟直接注数、遥控注数、数字量遥测接口、1553B总线、CAN总线，对测试信号进行数据管理，包括数据处理、示、存储、打印等。

(4) 供电系统

- 供电系统包括了两个部分，给姿轨控计算机供电的程控电源和给仿真系统供电的开关电源。

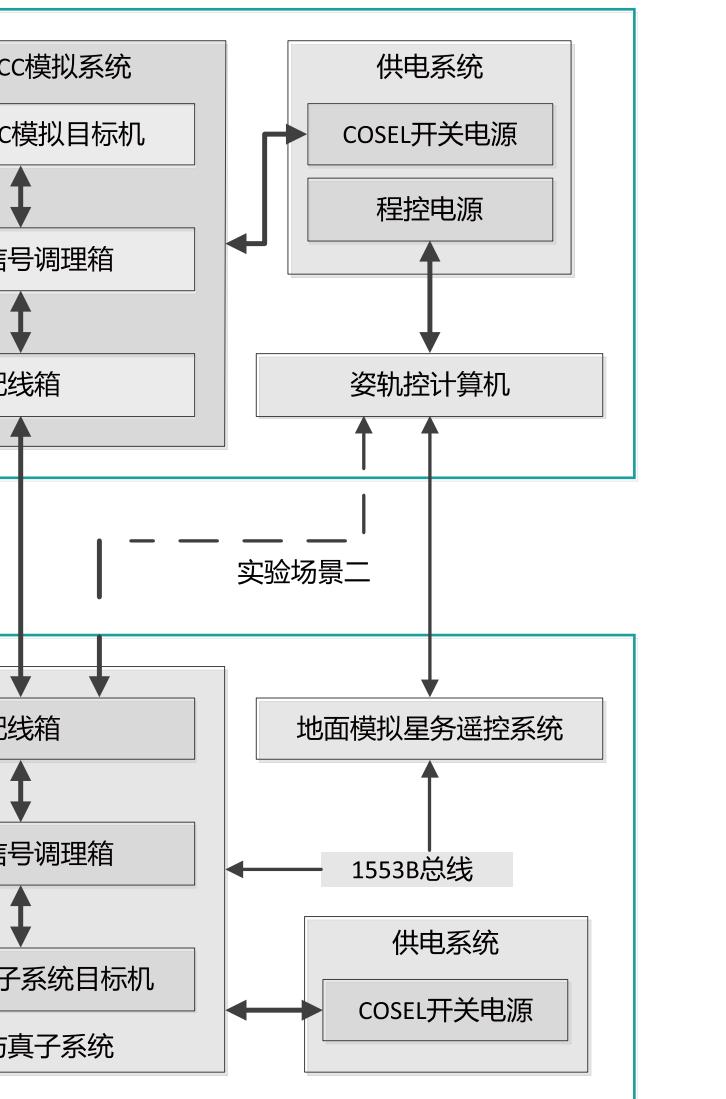


图1-3 系统框架原理图



图1-4 姿轨控半实物仿真平台实物