

基于 RTW ERT/VxWorks 的实时仿真方法实现

王先泽^{1,2}, 刘志勤¹, 陈怀民², 王道彬², 管懿梅²

(1. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025;

2. 西北工业大学, 陕西 西安 710065)

摘 要:介绍了一种基于 RTW Embedded Coder 和嵌入式操作系统 VxWorks 的实时仿真方法。在一些实时性要求较高的仿真系统中, 怎样能够在不加大开发难度的情况下提高仿真的实时性是一个需要解决的问题。Matlab 中的 RTW 是专门为实时仿真设计开发的, VxWorks 是一个非常实时的嵌入式开发系统, 利用代码生成工具将 ERT 嵌入式目标自动生成优化的嵌入式实时 C 代码, 下载到 VxWorks 嵌入式实时操作系统下运行, 主机运行 Simulink 模型, 目标机运行实时代码, 保证了实时性。同时提供了利用 C-API 接口实现在线调参的方法, 与传统的基于 Tornado 实时目标和 VxWorks 的实时仿真方法相比, 更加利于对模型参数进行访问。

关键词:实时工作箱; 嵌入式代码生成器; 在线调参; 嵌入式实时仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)02-0208-04

Realization of Real Time Simulation Based on RTW ERT and VxWorks

WANG Xian-ze^{1,2}, LIU Zhi-qin¹, CHEN Huai-min², WANG Dao-bin², GUAN Yi-mei²

(1. The Second Artillery Engineering School, Xi'an 710025, China;

2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Introduced a new method to realize real-time simulation based on RTW embedded coder and embedded real-time OS VxWorks. In some simulation systems, how to improve the real-time characteristics without increasing developing difficulties is a subject should solve. RTW in Matlab is developed for real-time simulation specially, VxWorks is a real-time embedded operation system, using code generation tool box to translate embedded real-time target ERT to optimize C code automatically, then download and work in OS VxWorks, simulink model work in host computer, real-time code work in target computer, which guarded the real-time characteristics. Also provide a way to adjust parameter on line with C-API, compared with the traditional real-time simulation method based on Tornado and OS VxWorks, it is more propitious to access model parameters.

Key words: RTW; ERT; parameter online adjustment; embedded real-time simulation

0 引 言

RTW^[1]是 Matlab 图形建模仿真环境 Simulink 的一个重要补充功能模块, 简而言之, 它是一个基于 Simulink 的代码自动生成环境。它能直接从 Simulink 模型中产生优化、可移植的嵌入式实时代码, 并且能够根据目标机配置自动生成适合该目标机软硬件环境的可执行程序。RTW 嵌入式代码生成器 (Real-Time Workshop Embedded Coder) 是一个独立于 RTW 的产品, 可插入到 RTW 中使用。它提供了生成产品级代码的框架, 可优化所生成代码的速度、内存使用和简洁

性, 非常适合于嵌入式系统^[2-4]。

VxWorks 操作系统是美国 Wind River 公司于 1983 年设计开发的一种嵌入式实时操作系统 (RTOS)。该操作系统具有良好的持续发展能力、高性能的内核和友好的用户开发环境, 使其在嵌入式实时操作系统领域处于世界领先地位, 且以良好的可靠性和卓越的实时性被广泛地应用在通信、军事、航空、航天等高精尖技术领域及实时性要求极高的领域中。Tornado 是主机的集成开发环境 [IDE], 它使用 Target Server-Agent 模式来建立主机和目标机之间的交叉开发环境, 解决了交叉开发环境中诸如有限的调试通信信道, 有限的目标机资源等问题。这种模式使所有主机工具可以用于目标机, 而不必考虑目标机的资源和通信机制。

在嵌入式实时仿真系统中, 快速生成优化的实时

收稿日期: 2007-06-21

作者简介: 王先泽 (1982-), 男, 重庆合川人, 硕士研究生, 研究方向为嵌入式软件开发; 刘志勤, 教授, 研究方向为计算机软件与理论; 陈怀民, 副教授, 研究方向为飞行器导航制导与控制技术。

代码与选择一个实时、稳定的嵌入式操作系统是非常重要的。RTW 嵌入式代码生成器是专门为嵌入式系统设计的,能够优化生成实时代码的速度,而 VxWorks 操作系统也在嵌入式实时仿真系统中处于世界领先地位,因此,选择 RTW 嵌入式代码生成器和 VxWorks 的实时仿真系统能够满足嵌入式实时仿真系统的要求,适合于嵌入式实时仿真系统的开发。

1 基于 RTW Embedded Coder 和 VxWorks 的实时仿真方法

RTW 本身支持多种目标环境,包括自身提供的、可及时使用的通用实时目标 grt、快速仿真目标 rsim、Tornado 实时目标和 RTW 嵌入式代码生成器目标 ert 等。选择合适的目标环境,通过 RTW 的自动代码生成功能可以将 Simulink 模型生成下载到 VxWorks 目标机中运行的实时代码。在上述几种目标环境中,快速仿真目标 rsim 是一个非实时的仿真环境,不支持实时仿真,grt 目标不能够生成能在 VxWorks 目标机中运行的实时代码,只有 Tornado 实时目标和 ert 目标支持生成可供 VxWorks 下载的目标文件。

在仿真进行的过程中经常需要对仿真参数进行调整,传统的方法是将模型建立在基于 Tornado 实时目标环境中,然后通过模型的外部模式对参数进行调整,实现在线调参。用外部模式调整参数,对于在多个模块中出现的同一参数变量需要进行逐一修改,且外部模式不能实现用已有的代码直接访问模型的信号和参数。

利用 RTW 与 C 语言的应用程序接口 C-API^[5]可以方便地对模型的信号参数进行访问修改,但是 Tornado 实时目标并不支持 C-API,因此提出了基于 RTW Embedded Coder 和 VxWorks 的实时仿真方法。

所谓基于 RTW Embedded Coder 和 VxWorks 的实时仿真方法就是指利用嵌入式代码生成器生成 ERT 目标,并且选用 VxWorks 作为任务执行的操作系统,在主机上生成非常优化的嵌入式实时代码后,通过 Tornado 的 Winsh 将实时目标文件 model.lo 下载到装有嵌入式实时操作系统 VxWorks 的目标机下运行。ERT 目标所生成的代码是嵌入式 C 代码格式,它使用依赖于模型的实时对象数据结构,极大地减少了代码和内存使用空间,内联的 S 函数减少了调用开销和代码大小,是 RTW 中专门为嵌入式系统所设计的目标环境。将 ERT 目标所生成的代码放在嵌入式操作系统 VxWorks 下运行将极大地减少系统开支,增强仿真的实时性,同时由于 ERT 目标支持 C-API,可以方便地对模型参数进行修改,实现在线调参。

2 利用 C-API 在线调参

主控机和目标机通过网络传输进行通信,可以在上位机中自己定制一个人机交互界面,在代码生成过程中系统自动包含了 mdl_info.h 文件,文件中定义了有关模型调整信息数据结构和一系列访问此数据结构的宏,通过对 mdl_info.h 的访问能够获取到仿真模型中所有的信号和模型参数信息。设置一块主控机和目标机共用的内存空间,并在其中设置一个标志位 ModParaFlag 来标志参数是否已经修改。在主机上对参数进行修改后,通过网络通信将修改后的参数信息写入共享内存,同时将标志位设为 1,在目标机上接收主机传来的数据包,对共享内存中的标志位进行检测,如果检测到 ModParaFlag 为 1,表示人机交互界面中的参数已经修改(此时仿真模型中的参数值其实还未真正修改)。此时调用目标机代理程序中的 C-API 接口函数访问共享内存,将修改后的参数信息赋给目标机仿真模型中的对应参数,目标机将按新的参数值进行仿真,从而实现了在线调参。

其过程如图 1 所示。

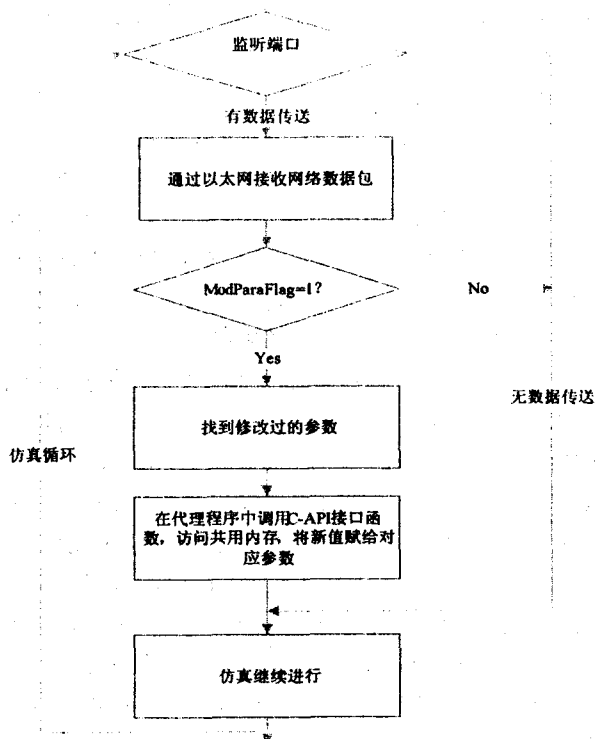


图1 在线调参实现过程结构图

利用 C-API 对基于 RTW 的系统进行在线调参的方法适用于多种目标系统,可根据自己的需要来定制人机交互界面,并且支持按参数变量名进行在线调参,使得在不同模块中多次出现的同一变量可以一改全改。

3 实时仿真的方法实现

3.1 RTW 中 VxWorks 实时程序自动代码创建过程

RTW 自动程序创建过程能在不同主机环境下生成用于实时应用的程序,该创建过程使用高级语言编译器中的联编实用程序,来控制所生成源代码的编译和链接过程。RTW 使用一个高级的 M 文件命令控制程序创建过程,默认命令是 make_rtw。创建过程:

第一阶段是对 Simulink 模块方框图进行分析,包括计算仿真和模块参数、递推信号宽度和采样时间、确定模型中各模块的执行次序和计算工作量大小等。在本阶段,RTW 首先读取模型文件(model.mdl) 并对其进行编译,形成模型的中间描述文件。该中间描述文件以 ASCII 码的形式进行存储,其文件名为 model.rtw,该文件是下一步骤的输入信息。

第二阶段是由目标语言编译器从模型中生成代码。目标语言编译器执行一个或几个 TLC 文件组成的 TLC 程序,该程序指明了如何根据 model.rtw 文件从模型中生成所需代码。文中选用 ERT 目标,因此所执行的 TLC 程序为 ert.tlc,它将指引程序生成 model.h,model.c,data.c,ert_main.c 等。由于选择了运用 C 语言应用程序接口 C-API 进行在线调参,在生成目标代码的过程中还会生成 model_capi.h,model_capi.c 用于用户对应用程序进行访问。

第三阶段是生成自定义的联编文件 model.mk。用户可以对已有的模板联编文件进行修改或生成自己的模板联编文件,对程序创建过程进行完全的个性化配置。文中将对 ert_tornado.tmf 进行修改,用以指导联编程序如何对从模型中生成的源代码、主程序、库文件或用户提供的模块进行编译和链接。

第四阶段是在自定义的程序创建文件的控制下,由联编实用程序生成可执行程序 model.lo。是否需要生成可执行程序主要由 Generate Code only 选项和模板联编文件变量中的 HOST 控制,当选中 Generate Code only 选项时,程序创建过程将忽略程序创建阶段,模板联编文件变量 HOST 用于辨识运行用户所生成的可执行程序的系统模型,当用于用户希望针对不同于正运行 Simulink 的系统(即宿主机)进行交叉编译时,应将 HOST 值设为 ANY。在设定目标操作系统为 VxWorks 后,系统将调用 make 实用程序生成可供 VxWorks 操作系统下载的可执行文件 model.lo。其过程如图 2 所示。

3.2 模板联编文件 ert_tornado.tmf

RTW 提供了一组模板联编文件(template make-files),可用于创建特定目标的程序,选择正确的编译器专用模板联编文件和编译器可以使用户的设计更

具有移植性。ert_tornado.tmf 是嵌入式代码生成器目标 ERT 在 VxWorks 的目标语言编译器 Tornado 下编译时默认使用的联编文件,该文件位于 %matlabroot%\rtw\c\ert 下。ert_tornado.tmf 中包括 make_rtw 宏定义,实时程序的生成规则等内容,根据实际情况,通过对其中的一些参数进行个性化设置,则可以用以指导创建自己的目标程序。

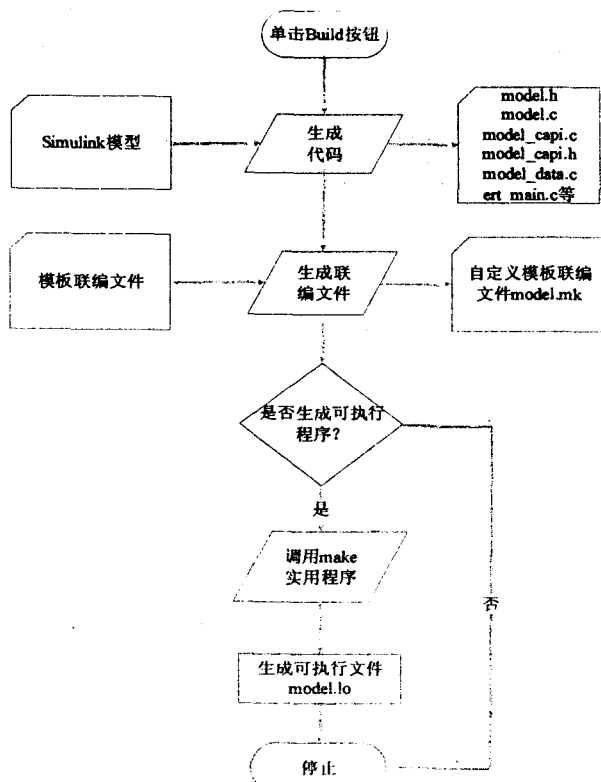


图 2 VxWorks 实时程序自动代码创建过程控制流程

3.3 实时仿真的具体实现步骤

为了实现实时目标代码在 VxWorks 目标机上的运行,下面举一个简单的例子来说明其具体实现步骤:

(1)在 Matlab \ Simulink 下建立仿真模型,这里将其命名为 testVxWorks,对仿真参数进行如下配置(见图 3,图 4)。

模型采用 ERT 系统目标文件,选用 C-API 为应用程序接口,并且按照 VxWorksExample 模板自动生成代码,见图 5~图 7。

(2)配置模板联编文件 ert_tornado.tmf,根据实际情况,作如下修改:

```

MAKECMD=d:/Tornado2.2.1/host/x86-win32/bin/make
(d:/Tornado2.2.1 为 Tornado2.2.1 根目录)
BUILD=yes
# -- Tool Locations -- #
WIND_BASE=d:/Tornado2.2.1
WIND_REGISTRY=madmax
  
```


别可重用的程序模块,建立通用类库,进一步形成构件对象资源库。

(5)采用单元测试与集成测试相交互,黑盒测试与白盒测相结合的方式,进行严格的软件测试。

(6)按照应用软件开发技术文档规范,提交详细的应用系统设计技术文档,包括函数、变量说明、流程说明等。

(7)提供多层次的安全控制功能,包括用户权限管理、操作日志监控、数据的联机备份和恢复机制。

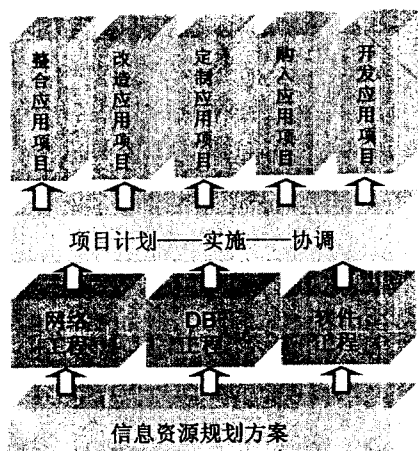


图5 企业集成化网络化信息系统建设实施方案框架

(8)应用系统使用与维护培训,系统优化与维护跟踪,应用系统评估。

企业集成化网络化信息系统建设实施方案的框架

如图5所示:在信息资源规划方案的基础上,组织实施通信—计算机网络工程、数据库工程、应用软件工程。

4 结束语

为解决“信息资源整合与共享问题”,提出一种基于 IRP 的企业信息化工程整体解决方案。本方案提出了一整套由“方法论+标准规范+支持工具”组成的技术体系,并进行了详细描述,从而提高了办事效率,促进了企业现代化管理水平的提高,增强了企业的市场竞争能力。

参考文献:

- [1] 陈文伟.决策支持系统及其开发[M].北京:清华大学出版社,2000.
- [2] Inmon W H.数据仓库[M].第2版.北京:机械工业出版社,2003.
- [3] Han Jiawei, Kamber M. Data Mining Concepts and Techniques[M]. [s.l.]:Morgan Kaufmann Publishers,2001.
- [4] Cbaudhuri S, Dayal S, Ganti V. Database Technology for Decision Support Systems[J]. Computer,2001(12):48-55.
- [5] Pedersen T B, Jensen C S. Multidimensional Database Technology[J]. Computer,2001(12):40-45.
- [6] 李盛恩,王 珊.多维数据模型 ER[J].计算机学报,2005,28(12):2059-2067.
- [7] 武海平,余宏亮,郑伟民,等.联网审计系统中海量数据的存储与管理策略[J].计算机学报,2006,29(4):618-624.

(上接第211页)

参考文献:

- [1] 杨 涤,李立涛,杨 旭,等.系统实时仿真开发环境与应用[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 梁加红,王奇霞,乔海泉.基于 RTLinux 的 MATLAB 实时仿真[J].计算机仿真,2002,19(6):115-118.

(上接第214页)

减少购买昂贵设备,而使学生反复演练,并了解内部结构。因而可以提高教育效益,适应教学与培训的要求。

参考文献:

- [1] 张 毅,周绍磊,杨秀霞.虚拟仪器技术分析与应用[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 张毅刚,乔立岩.虚拟仪器软件开发环境 Lab Windows/CVI 6.0[M].北京:机械工业出版社,2001.

- [3] 孔祥营,柏桂枝.嵌入式实时操作系统 VxWorks 及其开发环境 Tornado[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [4] 姚 俊,马松辉.Simulink 建模与仿真[M].西安:西安电子科技大学出版社,2002.
- [5] 冯 磊,姚新宇.利用 C-API 的基于 RTW 实时仿真系统在线调参[J].兵工自动化,2006,25(1):87-88.

- [3] 高亚奎.支持多线程虚拟仪器测试软件的开发[J].计算机测量与控制,2003,12(1):79-81.
- [4] 宋宇峰.LabWindows/CVI 逐步深入与开发实例[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [5] 耿德根,宋建国,马 潮,等. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [6] 周 泓,汪乐宇.虚拟仪器系统软件的设计[J].计算机自动测量与控制,2000,34(1):83-85.