

# 基于 MATLAB 的网络控制系统仿真

许顺孝

(集美大学轮机工程学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 介绍了基于 TrueTime 工具包和 Active X 技术的仿真平台实现方法. 前者是根据网络 MAC 协议对通信延迟机理进行建模的仿真软件包; 后者是针对网络控制系统通信模型仿真困难的缺点而提出, 该方法通过 Active X 技术实现了对象模型和控制器通信, 为网络控制系统的理论研究提供有效的检验平台. 通过对两者的比较指出两种方法的优缺点.

**关键词:** 网络控制系统; Active X; MATLAB; TrueTime

**中图分类号:** TP273

**文献标识码:** A

## The simulation of networked control systems based on MATLAB

XU Shun - xiao

(Marine Engineering Institute, Jimei University, Xiamen, Fujian 361021, China)

**Abstract:** This paper introduces two methods of simulation based on TrueTime and Active X, the first is a soft package which create model according to delay principle of networked MAC protocol, the latter is a new method to deal with the difficulty on the simulation of communication model. This method realizes the communication of the plant model and controller through ActiveX technology, then provides an effective test platform for theory research on NCS. Finally this paper gives the advantage and disadvantage by comparing both of them.

**Keywords:** networked control system; Active X; MATLAB; TrueTime

网络控制系统 (NCS) 因其节点智能化、开放性、互操作性、功能分散化和易于维护等优点已经成为自动化领域技术发展的热点之一<sup>[1]</sup>. 通信网络是控制系统的环节. 由于网络的承载能力和通信带宽有限, 而要分时共用网络进行传送的信息又很多, 这必然造成信息的冲撞、重传等现象的发生, 使得信息在传输过程中不可避免地存在时延. 时延由于受到网络所采用的通信协议、网络当时的负荷状况、网络的传输速率和信息包的大小等诸多因素的影响, 而呈现出或固定或随机、或有界或无界的特征, 导致控制系统性能的下降甚至不稳定, 同时也给控制系统的分析、设计带来很大的困难. 因此传统的控制理论都必须经过重新研究和设计才能应用到 NCS 中.

在设计新的网络控制系统控制算法时, 需要一个能反映实际网络控制系统特点的研究试验平台, 它应该能够如实反映控制回路中的通信延迟、重传和丢包等特性. MATLAB 语言是由 MathWorks 公司推出的具有较强的数值计算和仿真功能的计算机语言, 有非常强大的功能和丰富的工具包. 本文将讨论利用基于 MATLAB 的 TrueTime 工具包和 Active X 分别构建网络控制系统的仿真平台.

### 1 基于 TrueTime 的网络控制系统仿真研究<sup>[2]</sup>

TrueTime 是一种基于 MATLAB 的实时控制与网络控制 (DCS, FCS) 仿真工具箱. 利用该工具箱可以构建分布式实时控制系统的动态过程、控制任务执行以及网络交互的联合仿真环境. 在该仿真环境中, 可以研究多数调度策略和物理层网络协议对控制系统性能的影响. 其控制任务既可以用 C++ 代码编写, 也可

收稿日期: 2008 - 06 - 13

作者简介: 许顺孝 (1965 - ), 男, 副教授.

基金项目: 福建省青年科技人才创新项目 (2004J026)

以用 MATLAB 的 M 文件编写，还可以利用 Simulink 仿真模块的形式实现，它主要包括 TrueTime Keme1 TrueTime Network 两个接口模块，两种模块都采用事件驱动方式工作，任务执行取决于内部事件（如定时到、任务完成等）与外部事件（如信息到达网络）。

TrueTime 具有很强的功能，可用于：研究因强占或者传输时延等时间不定性对控制性能的影响；根据测量的实际时间变化，设计动态调节控制器，用作系统的补偿；进行新的更加灵活的动态调度方法实验，如 CPU 时间和通信带宽的反馈调度和基于 QoS 的调度方法；用于进行事件驱动的控制系统的仿真研究。

### 1.1 TrueTime 的核心模块

TrueTime Keme1 模块可用于构成网络控制系统的节点，它包含了简单但灵活的实时内核，有 A/D 和 D/A 转换器接口、网络接口和外部通道等。调度器与监控器的输出用于显示仿真过程中公共资源（CPU、监控器、网络）的分配。另外实时内核包括大量的数据结构，如等待队列、时间队列、线程记录、中断处理器和计时器等。内核模块按照用户定义的任务工作，任务执行取决于内部事件与外部事件，以中断方式产生。外部中断与计算机模块的外部中断通道相连，相应的信号值改变时（如信息到达网络）中断被触发。内部中断与定时器相关，当定时器的时间到达预定值或者任务完成时触发。当外部和内部中断发生时，用户定义的中断句柄被调用去执行中断服务程序。中断句柄的工作类似于一个任务，一个中断句柄被定义为标识符、优先级和代码函数，任务的执行与中断句柄都是由用户编的代码函数实现，代码的编写可以采用 MATLAB 或 C++ 语言。并且每次使用该模块时，必须对其初始化。

### 1.2 TrueTime 的网络模块

TrueTime Network 模块给网络控制系统提供了信息传递的环境。它包含多种网络参数，如网络节点数目、传输速率以及媒体访问控制协议等。它提供的媒体访问控制协议包括随机载波多路监听/冲突检测（CSMA/CD）、随机载波多路监听/冲突避免（CSMA/CA）、时分多路复用（TDMA）、频分多路复用（FDMA）以及 Round robin 方式。网络模块采用事件驱动方式，当有消息进出网络时，网络模块执行工作。TrueTime 中预定义了多种调度策略，包括固定优先级（FP, Fixed Priority）、单调速率（RM, Rate Monotonic）、截止期单调（DM, Deadline Monotonic）和最小截止期优先（EDF, Earliest Deadline First）。按照选定的网络模型模拟数据的接收与发送情况，当有信息读入或发送时，该模块被触发执行相应的功能。通常情况下，读入/发送的信息应包括接收方和发送方主机节点的信息和用户定义数据（通常是控制信号或测量信号）、信息总长度和实时属性参数如优先权、截止时间等。该模块还可以方便地设定网络速度、传输控制协议以及许多其它的网络模型参数。在仿真环境下，当一条信息的传输完成时，该信息将被存储在目的主机节点的缓冲区，并以中断的形式通知目的主机。并且每次使用该模块时，必须对其初始化。

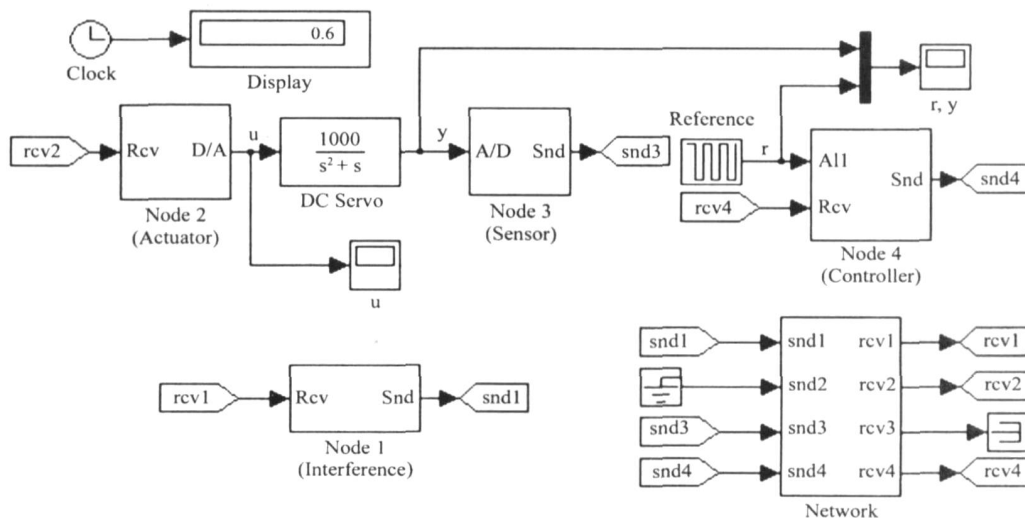


图 1 基于 TrueTime 的网络控制系统仿真实例

Fig 1 Simulation example of NCS based on TrueTime

### 1.3 仿真实例

图 1 是一个基于以太网的直流电机网络控制系统仿真的 Simulink 程序图, 控制系统将传感器、控制器和执行器作为系统的 3 个节点, 分别用一个 TrueTime Kernal 模块仿真. 传感器节点采用时间驱动方式, 它包含一个周期性任务, 将定期采样的信号通过网络传送到控制器节点; 控制器和执行器节点采用事件驱动方式, 控制节点处理控制信号并将结果送至执行器节点, 执行器节点执行控制信号并输出结果. 为了对系统进行研究、分析, 系统还有加入了一个通信干扰节点.

## 2 基于 Active X 自动化技术的实时仿真

Active X 是基于 Microsoft 的 COM (组件对象模型) 和 DCOM (Distributed COM) 之上的新的 OLE 技术, 其特点是使不同的软件对象可以跨进程、跨平台并能在网络上进行交互, 它允许一个应用程序 (控制端) 去控制另一个应用程序 (服务器端) 运行<sup>[3]</sup>.

### 2.1 仿真原理

如图 2 所示, 被控对象和远程控制器分别用一台计算机进行模拟, 两台计算机再通过实际网络相连构成网络控制系统的仿真系统. 其中控制器和被控对象通过 MATLAB 仿真实现, 两者的数据通讯通过高级程序语言 VB 完成, 这里就涉及到 VB 和 MATLAB 之间的交互问题. VB 支持 Active X 自动化控制端协议, MATLAB 支持 Active X 自动化服务器端协议, 当建立了一个 VB 应用程序和 MATLAB 之间的 Active X 自动化连接, 就可以实现两者之间的交互.

被控对象站点的 VB 网络通讯程序从网络上获取控制信号, 将它传送到 MATLAB 进行被控对象的状态和输出计算, 然后将输出的数据送到控制器站点. 控制器站点的 VB 网络通讯程序从网络上获取被控对象的输出数据, 再利用 MATLAB 计算出控制信号, 最后将控制信号送到控制器站点. 该仿真系统使传感器数据和控制器数据通过真实网络环境传递, 在数据传输过程中会遇到冲突或延迟, 可真实反应网络控制系统中网络延迟特性.

### 2.2 网络数据传输方法<sup>[4]</sup>

被控对象和远程控制器通过实际网络进行数据传输和交互. 网络数据通信可以采用两种传输层协议: 面向连接的传输控制协议 (TC/IP 协议) 和面向非连接的用户数据报协议 (UDP 协议), 前者每次完整的数据传输都必须经过建立连接、使用连接、中止连接三个过程, 提供数据有序、无重复的传输. 后者支持数据双向流动但不能保证数据的顺序和不重复性, 考虑到 TC/IP 协议的广泛性, 系统采用的是面向连接的传输控制协议 (TC/IP 协议).

在 Windows 的各种网络编程接口中使用 Windows Sockets 编程接口, 具体编程时利用 VB 的 Winsock 通信控件实现数组的网络传输. 如果建立客户应用程序, 则必须知道服务器计算机名称或者 IP 地址, 这可以通过 Winsock 控件的 RemoteHost 属性来设置; 此外, 还要知道进行 "侦听" 的端口, 可以通过 RemotePort 属性来设置. 设置上述属性之后, 调用 Connect 方法, 就可以建立服务器应用程序的连接.

如果要建立服务器应用程序, 则应设置一个收听端口, 即 Winsock 控件的 LocalPort 属性, 并调用 Listen 方法. 当客户计算机需要连接时, 将发生 ConnectionRequest 事件, 为了完成连接, 可在 ConnectionRequest 事件内调用 Accept 方法.

建立连接之后, 任何一方计算机都可以收发数据. 为了发送数据, 可调用 SendData 方法. 当接受数据时将发生 DataArrival 事件, 在 DataArrival 事件内调用 GetData 方法可以获取数据.

通过以上程序, 网络上的两台计算机能够实现实时的传输. 值得注意的是在上述网络控制系统仿真

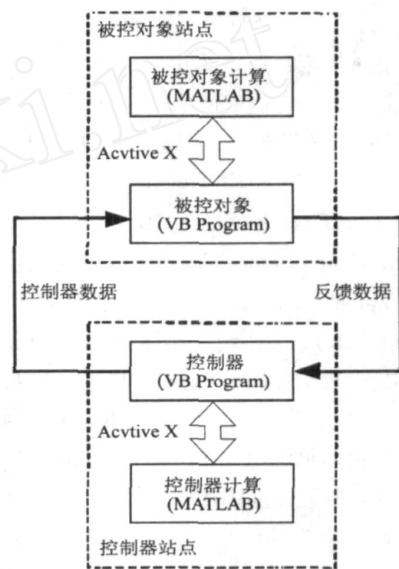


图 2 仿真系统工作原理

Fig 2 Diagram of simulation system

模型中被控对象和远程控制器之间传输的是 Double型一维和一维数组数据,但是 Winsock控件提供的方法只能传输字符串和 Byte数组,所以每次和 MATLAB 仿真模型进行数据交互时,必须进行数据类型的转换,笔者利用 VB 中的 Split函数来进行字符串与数组的转换问题.

### 3 两种方法的比较

网络控制系统是一种分布式实时控制系统,网络控制系统的设计和研究涉及系统控制与网络调度两个方面,目前集成了控制和调度的仿真工具很少. TrueTime可以用于网路控制系统的网络时延分析、系统控制与网络调度进行设计仿真等方面,是理想的网络控制系统的仿真开发软件. 但 TrueTime实现的机理建模方法具有局限性:

1) TrueTime根据网络 MAC协议对通信延迟进行机理建模的,其仿真过程是非实时的,从而使仿真系统无法真实逼近实际的网络控制系统;

2) TrueTime Network只提供了几种底层协议的接口,缺少对高层网络协议如 TCP的仿真,需要对当前的库进行扩展;

3)观测不到影响网络控制系统性能的各主要元素(时延、丢包、带宽等),无法对不同控制方法的效果进行深层次分析.

在 MATLAB 中采用 Active X技术实现网络控制系统仿真平台的开发. 虽然其功能没有 TrueTime强大,但也有很多优点:

1)仿真平台的网络延迟取自实际网络,能够对实际系统的延迟特性进行很好的模拟,是一种能在线实时仿真方法,是其它软件仿真的有力补充;

2)由于采用 ActiveX技术,提供标准的数据访问接口,简化模型和控制器间的通信设计,便于模型的扩展升级.

由于实际网络环境的不断变化,进行控制算法研究时,无法保证实验条件的一致性. 为此,还必须开展能复制和再现网络环境及各种网络时延状态的仿真实验系统,如采用网络仿真环境——NS-2<sup>[5]</sup>.

#### 参考文献:

- [1] 黎善斌,王智,张卫东,等. 网络控制系统的研究现状与展望[J]. 信息与控制, 2004, 32(3): 239 - 244.
- [2] Ohlin M, Henriksson D, Cervin A. TrueTime 1.5 - reference manual[EB/OL]. 2007 - 01. <http://www.control.lth.se>
- [3] 刘炳文. Visual Basic 6.0 程序设计——Active X篇[M]. 北京:人民邮电出版社, 1999.
- [4] 解金旺,徐文尚,徐学强. 基于 Active X 的 MATLAB 与 VB 的数据交换与集成开发[J]. 工业控制计算机, 2003, 16(11): 49 - 50.
- [5] 于斌. NS2与网络模拟[M]. 北京:人民邮电出版社, 2007.

(责任编辑:杨青)