

文章编号:1004-1478(2011)01-0079-04

# 基于 TrueTime 的网络化控制系统仿真平台的构建

王俊杰, 孙君曼

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**利用 TrueTime 的核心模块 TrueTime Kernel 和网络模块 TrueTime Network 构建了网络化控制系统仿真平台,并通过干扰节点和网络模块的建立模拟网络环境.仿真结果表明,该仿真平台可以灵活地模拟不同物理层的网络协议、网络中多变的传输状况和不同调度策略对控制系统性能的影响,依此实验平台为基础,可对网络控制系统的控制算法与网络调度等问题进行深入研究.

**关键词:**网络控制系统;TrueTime Kernel;TrueTime Network;仿真平台

中图分类号:TP393

文献标志码:A

## Construction of simulation platform for networked control system based on TrueTime

WANG Jun-jie, SUN Jun-man

(College of Electr. and Infor. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:**The network control system (NCS) simulation platform was constructed by using TrueTime Kernel and TrueTime Network. The network environment is built through interference node and network model. The simulation results showed that this simulation platform could simulate flexible network protocol of different physical layer, changeful transmission condition, influence of control system performance under different scheduling strategy. The control algorithm of NCS and network scheduling can be deeply studied on this simulation platform.

**Key words:**networked control system(NCS);TrueTime Kernel;TrueTime Network;simulation platform

## 0 引言

网络化控制系统(networked control system, NCS)涉及控制、计算机与网络通信等理论和技术,是控制学科一个新的发展方向.NCS是一种分布式实时控制系统,通过通信网络实现分布在不同区域的监视器、控制器、智能传感器、执行器之间的信号

传递和信息交换,整个系统通过通信网络实现闭环控制.网络的引入对控制系统既是机遇又是挑战.一方面,网络使控制系统更具开放性,可实现数字互连,维护方便,具有更好的可靠性和容错能力;另一方面,时延、丢包等网络因素会给控制系统的控制品质和稳定性带来负面影响.

NCS 仿真平台是为了提高系统控制性能,使系

收稿日期:2010-03-25

基金项目:河南省科技攻关项目(102102210141)

作者简介:王俊杰(1972—),男,河南省南乐县人,郑州轻工业学院实验师,主要研究方向为电气工程及其自动化.

统在具体网络中能健康运行从而缩短研发时间并减少成本而建立的一个模拟的网络环境,在此环境下,可对系统进行性能评估,观察随机、丢包、时变的网络时延对系统稳定性和控制品质的影响程度,利用仿真结果对控制器算法进行优化设计,进行控制算法及指标的研究。

近年来,随着对 NCS 研究的不断深入,不少研究者开发了适合 NCS 的仿真工具<sup>[1-2]</sup>,如 OPNET, Network Simulator, 还有网络协议、数据包分析工具(如 Sniffer, Ethereal)等。网络仿真软件是分析网络性能、评估网络设计方案和诊断网络故障的有力工具。目前,在网络系统方案设计阶段,对于规模稍大的互连网络还不能通过理论对其进行精确分析,一般都是依靠仿真方法对设计方案进行评估,这有利于减少投资风险,降低网络实现费用。

从通信的角度看,常用的建模仿真软件 OPNET, NS-2 能较好地体现网络特性(如总线类型、网络速率等),但这些软件不能很好地反映控制方面的特性(如超调量、上升时间、稳定时间等)。能较好体现控制系统特性的常用软件为 Matlab/Simulink, 但仅采用这种仿真平台不能对网络特性做出有效反映。TrueTime 是一种基于 Matlab 的实时控制与网络控制(DCS, FCS)仿真工具箱,既能用来仿真网络特性,又能加入控制系统特性。TrueTime 包括 TrueTime Kernel 和 TrueTime Network 2 个接口模块,2 种模块都采用事件驱动方式工作。TrueTime Network 模块能模拟 NCS 网络传递的环境,方便地设定媒体访问控制协议、网络节点数目、传输速率等多种网络参数。目前,国内对于仿真平台构建的研究,多是针对远程控制、远程故障诊断、网络虚拟实验室和嵌入式 Internet 的,并且都是根据不同软件的特点,构建不同的网络平台,并没有一个通用的仿真平台<sup>[3-4]</sup>。鉴于此,本文拟基于 TrueTime, 构建一种全数字的网络化控制系统仿真平台。

### 1 NCS 模型构建

与传统的控制系统相比,网络的某些因素对 NCS 系统的性能有更大的影响,因此,构建 NCS 仿真平台一定要考虑网络环境。NCS 的设计与研究涉及控制算法与网络调度 2 个方面,网络方面主要包括时延、丢包、数据传输、单包多包以及信息安全等问题。要构建其仿真平台,就要定义数据结构,编写

代码,然后将软件打包成库。在构建过程中,要求建立各个模块能反映系统的真实实体,表示不要过于抽象,要对各个可执行模块进行明确定义。系统仿真平台中包含的各个模块组件要尽量少,功能模块应具有通用的接口,便于进一步设计与使用。

笔者利用 TrueTime 提供的核心模块和网络模块构建 NCS 平台。其控制系统采用 PID 控制器,控制对象为线性二阶系统;传感器和执行机构为事件驱动(利用代码实现)。本文侧重阐述 NCS 的构建方法。依此实验平台为基础,可对控制算法与网络调度等问题进行深入研究<sup>[5]</sup>。

#### 1.1 传感器

传感器节点接口如图 1 所示。接收端 A/D 接收受控对象的输出信息,将其转换成数字信息后,发送给传感器处理,Interrupts 和 Rcv 接地;在发送端(Snd),将信息经过网络传送到控制器, D/A, Monitors P 的输出信号保存, Schedule 用来监控系统的资源分配情况。

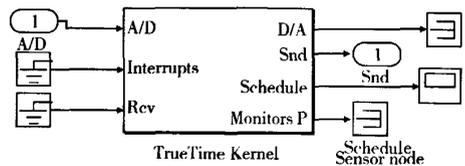


图 1 传感器节点

传感器采用时间驱动的工作方式,主要作用是检测受控对象的输出量,并经过 A/D 转换成数字信息,经传感器模块处理之后,以数字信息的方式发送给网络模块,经该模块处理后再发送给控制器。具体工作步骤为:对受控对象进行周期采样,当系统开始工作后,每当到达系统的采样时间点,传感器就执行 1 次采样,然后对每个受控对象的输出进行处理,并将结果通过网络发送给控制器。根据受控对象、控制器和执行机构的不同,以及整个系统应用环境的差异,可以设计不同的传感器。该模块使用 ttAnalogIn( )和 ttSendMsg( )库函数,其作用分别是接收信息和把处理后的信息发送给系统的下一个节点。

#### 1.2 控制器

利用 TrueTime Kernel 模块构成控制器,模块封装及端口连接如图 2 所示。接收端 A/D 接收输入信息,Interrupts 端接地,Rcv 用来接收控制器处理后的输出量。在发送端 D/A, Monitors P 接口输出信号保存,Rcv 接收的信息经控制器处理后,由 Snd 发送给

系统的网络模块, Schedule 监控系统的资源分配情况. 图中控制器节点采用事件驱动的工作方式, 当有来自传感器端的事件到达时, 控制器开始工作. 具体工作步骤为: 首先得到从网络传来的传感器端的输出, A/D 接输入信息, 并把它与参考输入信息相比较, 由控制器控制策略计算出控制量, 并通过网络将其发送给执行机构. 模块使用 ttgetmsg( ) 和 ttendmsg( ) 库函数, 作用分别为得到从网络传来的传感器信息和发送信息给下一个节点.

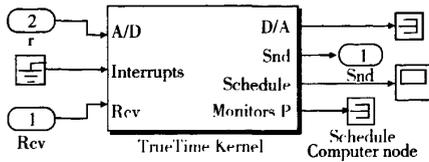


图 2 控制器节点

控制器的设计需要根据不同系统的需求进行, 平台构建好后, 通过植入不同的控制算法, 可以研究不同网络环境下 NCS 的系统性能. 本实验采用常规 PID 控制器.

### 1.3 执行机构

执行机构由 TrueTime Kernel 模块构成, 接口如图 3 所示. 它的主要功能是通过网络接收来自控制器端的控制量, 经过处理后对受控对象产生输入信息, 使其执行某些操作. 在接收端, 没有使用内部或者外部中断信号, 故 Interrupts 接地, A/D 没有使用, 故接地; 在发送端, D/A 把离散信息转换为模拟信息, 用来控制受控对象, 由于用到 D/A 和 Monitors P 接口, 因此将它们的输出信号保存, Schedule 接口用来监控系统的资源分配情况. 该模块使用 ttgetmsg( ) 和 ttanalogout( ) 库函数, 其作用是接收信息和把处理后的信息发送给系统的下一个节点.

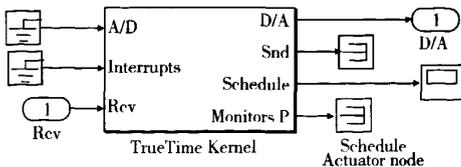


图 3 执行模式

### 1.4 干扰信号节点

为了模拟实际网络中存在的干扰信号, 可由 TrueTime Kernel 模块构成干扰信号节点, 主要是发送堵塞信号到网络, 堵塞信号优先在控制器节点执

行. 在实验中, 因干扰节点也没有使用内部或者外部中断信号, 故 Interrupts 接地, A/D 没有使用, 故接地, Rcv 用来接收系统的信息. 由发送端 Snd 输出并且堵塞信号优先在控制器节点执行. 模块使用库函数 ttendmsg 发送消息.

### 1.5 网络模块

在网络平台中, 一定要构建逼真的网络环境, 此任务由 TrueTime Network 通过构建网络节点完成. 根据选定的网络模型模拟数据的接收与发送情况, 还可以设定各种网络传输的不稳定性因素, 如丢包、时延等, 便于对不同网络情况下控制算法、控制性能各参数的研究.

网络模块接口如图 4 所示. Snd, Rcv 分别由 4 路组成, 该模块使用其中 2 路, 分别接收传感器和控制器发送的信息. 接收的信息经过网络模块处理后, 由相应发送端分别发送到控制器模块和执行机构. 由传感器端发送的信息经过网络后到达控制器端, 同样, 控制器端发送的信息经过网络后到达执行机构. 但是网络并不对信息的内容进行任何处理, 只是模拟增添某些网络因素. 在事件驱动模式下, 当有消息中断口进出网络时, 网络模块执行工作. 通常情况下, 读入/发送的信息包括发送方和接收方主机节点信息及用户定义的包含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)等数据<sup>[6-7]</sup>.

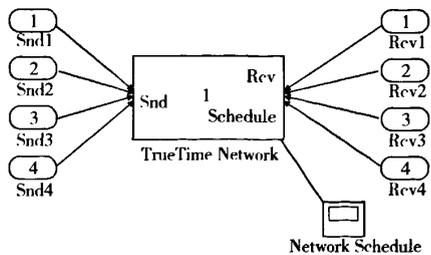


图 4 系统的网络模块

## 2 仿真平台网络性能仿真实验

TrueTime 具有如下特点: 1) 软件中 2 个基本模块具有通用性, 在构建各个处理单元时只需选用其相应的接口功能进行连接即可, 可大大加快模型构建的速度. 2) 可以比较方便地模拟各种实时调度策略, 并通过 Scope 观察任务调度和对象输出的情况. 3) 在网络模块中, 可以很方便地模拟数据传输率、

包的大小和丢包率等网络参数,有利于分析各类参数对 NCS 的性能影响.此外,通过设置 TrueTime Network 模块的网络协议,还可进行不同协议下控制系统的研究.通过改变 Network type 可以得到 CSMA/CD, CSMA/CA, Round Robin, FDMA, TDMA 等协议下的仿真波形.

### 2.1 Round Robin 协议实验

设定网络类型为 Round Robin,网络参数设置如下:4个网络节点、1个网络、数据包 20 b、数据传送率 80 000 b/s、丢包率为 0、网络带宽的百分比为 0.依据上述参数进行仿真实验,系统输出波形如图 5 所示.

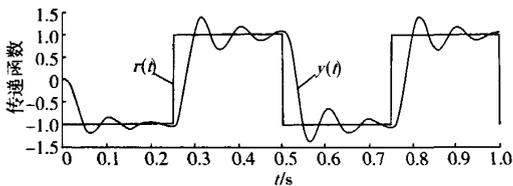
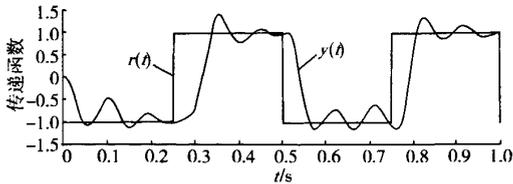


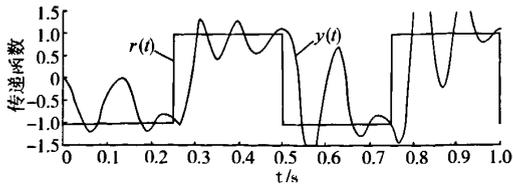
图 5 系统输出波形

### 2.2 丢包仿真实验

影响网络控制系统性能的另外一个重要因素是传输过程中数据的丢失,网络模块内部对时延进行了随机化处理,因此该丢包实验是在带有时延的环境下进行的.参数设定 CSMA/AMP(CAN)网络,并修改网络模块的丢包率,对不同丢包率进行仿真,其他网络参数设置同 2.1,仿真实验系统输出波形如图 6 所示.



a) 丢包率为 0.15



b) 丢包率为 0.2

图 6 不同丢包率的系统输出波形

由图 6 可知,通过改变网络参数,可以得到不同网络传输环境下的系统输出波形.在丢包率较小(0.15)时,系统输出超调量较大,调节时间较长,但系统能保持稳定.随着丢包率逐渐增大,达到 0.2 时,该

NCS 系统不再保持稳定.所以,传输过程的数据丢失使 NCS 性能变差,丢包率的增大会使系统稳定性变差.

## 3 结论

在 TrueTime 仿真环境中,可以灵活考虑不同物理层的网络协议、网络中多变的传输状况和不同调度策略对控制系统性能的影响,这为系统仿真带来了很大的方便.程序既可以用 C++ 代码也可以用 Matlab 的 M 文件编写,其控制任务还可以利用 Simulink 仿真模块的形式实现.但网络控制系统是涉及控制与网络通信的复杂系统,随着网络控制系统应用领域的逐步扩大, TrueTime 很难有效地仿真各种复杂网络控制系统.为了提高网络控制系统的性能,不可避免地对影响网络控制系统性能的各主要因素进行深层次分析. TrueTime 对于随机产生的丢包率和高层协议的仿真和扩展也存在着不足,因此,对于需要观测这些要素的控制方法,还要寻求更适合的仿真环境.总之,网络控制系统是一个广泛的课题,无论何种仿真都是为了使研究成果应用于实际.基于此,开发更加真实的逼近实际网络控制系统的仿真技术,对于缩短 NCS 系统开发时间、降低开发成本,进而推动网络化控制系统的发展具有重要意义.

### 参考文献:

- [1] 冯冬芹,廖智军,金建祥,等.基于以太网的工业控制网络实时通信模型研究[J].仪器仪表学报,2005,26(9):891.
- [2] Yamada T, Maruyama T. Study on a security framework for a plant level network[C]//Int Joint Conf, Busan: SICE-ICASE, 2006:1063.
- [3] 谢林柏,方华京,王华.网络化控制系统的信息调度与稳定性研究[J].控制与决策,2004,19(5):589.
- [4] 岳东,彭展, Han Q L. 网络控制系统的分析与综合[M].北京:科学出版社,2007.
- [5] Walsh G C, Hong Y, Bushnell L G. Stability analysis of networked control systems[J]. IEEE Trans on Control Syst Tech, 2002, 10(3):438.
- [6] Kim W J. Real-time operating environment for networked control systems[J]. IEEE Trans on Auto Sci and Eng, 2006, 3:287.
- [7] Kim D S. A Scheduling Method for Networked Control Systems in Fieldbus Environments[M]. Seoul: Seoul National University, 2003.