

基于MATLAB/SimEvents的网络仿真研究

孙晓峰, 王中杰

(同济大学 控制科学与工程系, 上海 201804)

摘要: 为实现网络仿真, 从网络属于离散事件系统入手, 参考一般网络仿真工具 NS2 的建模原理。并利用离散事件仿真工具 SmEvents 对节点、链路等网络构件进行建模, 实现了包含 UDP 及流量发生器等网络仿真。仿真实例说明在 MATLAB 单一平台上可以实现有效的网络仿真。

关键词: 离散事件仿真; SmEvents; NS2; 网络仿真

中图分类号: TP393 文献标识码: A 文章编号: 1009-3044(2007)23-41254-04

Research of Network Simulation Based on MATLAB/SimEvents

SUN Xiao-feng, WANG Zhong-jie

(Department of Control Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: To implement network simulation, the modeling principle of the common network simulator NS2 is reviewed with the knowledge that network belongs to discrete-event system. With the help of discrete-event simulator SmEvents, some network components such as node and link are modeled, and a network model which contains UDP and traffic generator is implemented. The simulation examples indicate that both effective network simulation and co-simulation for NCS can be easily implemented in the single platform of MATLAB.

Key words: Discrete-event simulation; SmEvents; NS2; Network Simulation

1 引言

网络因为信息量存在随机流动与集散性, 属于一类离散事件系统。其仿真分析方法不同于传统的线性系统。

目前已有专用网络仿真软件如 NS2、OPNET 等, 这些主流仿真软件都采用了离散事件模拟技术, 并提供了丰富的网络仿真模型库和高级语言编程接口, 无疑提高了仿真软件的灵活性和使用方便性。但在某些特定应用中并不能很好地发挥作用, 例如网络控制系统(以下简称 NCS)的联合仿真。

目前, 国内外已有学者建立全数字或半实物 NCS 联合仿真平台: 美国卡斯西部保留大学的 Liberator^[1]等搭建的基于 NS2 的仿真平台, 充分利用 NS2 的网络仿真功能, 但其对控制系统的动态系统建模仿真扩展并不完善, 而且要求建模者花费一定精力在编程与熟悉 NS2 软件上。瑞典朗德大学的 Martin Ohlin^[2]等开发的基于 MATLAB/Simulink 的 TrueTime 工具箱, 具有链路层仿真功能的网络模块和两种无线网络协议

仿真功能的无线网络模块, 但是这些网络仿真模块并非离散事件仿真模块, 不能有效模拟网络特性, 而且系统仿真中缺少对高层网络协议如 TCP、UDP 等的仿真。国内外很多学者建立的半实物仿真存在着成本很高, 重新配置很难, 运用起来不灵活, 实验床的规模难以做到很大, 不能实现网络中的多种通信流量和拓扑的融合。清华大学的李洪波^[3]、华中科技大学的杨素林^[4]采用 Matlab、OPNET 或 NS2、Visual C++ 软件平台和软件组建设计思想, 设计并实现仿真平台, 但是这些平台的简单易用性等是比较欠缺的。

在目前的控制系统建模仿真环境中, 由于 MATLAB/Simulink 提供了强大的适合于控制系统的仿真功能, 可以广泛利用已有的工具箱, 使用与开发都非常方便, MATLAB 已经占据了绝对性的优势, 最好能将联合仿真平台构建在 MATLAB/Simulink 的框架上, 实现无缝集成。NCS 的控制系统部分完全可以利用 MATLAB/Simulink 提供的成熟软件工具来建模仿真, 所以解决联合仿真问题的关键是在此框架上添加网

收稿日期: 2007-10-10

作者简介: 孙晓峰(1982-), 男, 江苏人, 硕士研究生; 王中杰(1971-), 女, 辽宁人, 教授, 博士。

1254 电脑知识与技术

络仿真模块。网络部分是一类离散事件系统, SmEvents 是 MATLAB 新增的离散事件仿真工具^[9], 而已有的比较成熟的网络仿真软件 NS2 就是典型的离散事件模拟器, 而且是开源软件, 可以阅读学习其成熟的代码实现, 学习 NS2 的仿真机制, 将它的网络仿真功能用 SmEvents 实现, 也有利于发挥 MATLAB/Smulink 的强大的计算、仿真功能。

2 建模原理与实现

本文利用 NS2 的网络仿真建模原理, 在 SmEvents 上构建新的网络仿真平台, 进而与 MATLAB/Smulink 集成以实现 NCS 的联合仿真。

2.1 NS2 网络仿真建模原理^[6]及缺点

NS2 本质上是一个离散事件模拟器。针对网络模拟, NS2 已经预先做了大量的模型化工作, 对网络系统中一些通用的实体进行建模, 实现这些实体的特性和功能, 构成网络仿真的基本构件, 例如节点、链路、队列、分组等。建模者可以充分利用这些构件, 进行少量的扩展, 组合出所要研究的网络系统的模型, 然后进行模拟。

2.1.1 节点(node)

节点是 NS2 中最重要的一个构件。一个节点是由分类器、复用器、代理等更基本的构件组合而成的。在 NS2 中, 节点可以代表传送端主机、接受端主机或者网络中的路由器, 不同节点用链路连接起来, 就构成了网络。

节点中最简单的单播节点(unicast node) 主要包含两个对象^[6]: 地址分类器(address classifier) 和端口分类器(port classifier), 它们分别用来判断分组的目标地址以及分组的目标代理。现实网络中主机也是用 IP 地址、端口号这样的分用机制来引导分组的。

收到一个分组后, 节点需要检查分组的某些域(大多数情况下是检查目的地址, 某些时候会检查源地址), 然后寻找与这个域的值相匹配的接收者。此工作即由分类器完成。分类器的功能就是从逻辑上匹配一个分组, 并基于匹配的结果把该分组传递给相应的对象, 即分派传入的分组到正确的代理或链路出口去。

2.1.2 链路(link)

链路是网络拓扑的第 2 部分。最简单的点对点单

向链路的创建^[6]中包含带宽(bandwidth), 延迟(delay), 队列类型(queue), 有模拟分组传递延迟的功能。每一条单向链路通常只有一个队列, 其它更复杂的链路可能含有多个队列。双向链路实际上由两条单向链路构成。链路是由一系列的连接器(connector) 逐步构成的。连接器要么把分组递交给目标对象, 要么把分组递交给 drop 对象。

2.1.3 代理(agent) 和应用层程序

代理[6]代表了运输层分组的起点和终点, 并被用于实现如 TCP 和 UDP 等协议, 也可用于实现路由协议。

根据计算机网络分层次的体系结构, 在 NS2 中, 应用层程序构建在运输层代理(transport agent) 之上, 它分为两大类: 流量发生器(traffic generator) 和应用模拟器(simulator application)。这两类应用层程序与运输层代理(transport agent) 之间的关系是: 流量发生器一般用在 UDP 代理之上如 CBR 恒定比特率发生器, 应用模拟器一般用在 TCP 代理之上如 FTP。

2.1.4 NS2 用于 NCS 联合仿真的缺点

上文提到虽有学者使用 NS2 的网络仿真功能, 与 MATLAB 对动态系统的仿真结合起来实现联合仿真, 但却有很大的缺陷和失真。主要问题是 NS2 中分组跟控制系统数据之间的关系。如上文提到的清华大学李洪波^[3]采用的方式是: 利用 NS2 对特定网络环境进行仿真时, 创建特定类型的文件来记录模拟过程的相关数据和信息, 利用编制的文件处理工具对该文件中数据包发送和接收时间戳等信息进行提取和分析处理, 即可以得到时延和丢包等相关数据和信息。提供相应的数据存储区, 用以存储时延和丢包等相关数据, 调用这些数据进行 NCS 联合仿真。但这种方式对建模者来说使用并不方便, 也跟实际情况不同, 模拟的效果不是很完美。

再如华中科技大学的杨素林^[4]采用 NS2 的 Emulation 实现 NS2 和实际的网络连接的功能, 通过特定的对象把实际网络中的分组嵌入到模拟器中, 并将模拟器中产生的分组输出到实际网络中。但是 NS2 的实时功能一直都没有得到充分开发, 还很不成熟, 因为虽然 NS2 中的分组可以通过分配数据空间来携带真实的数据, 但很少有上层应用和代理支持这一特

性。而且基于 MATLAB/Simulink 的仿真属于伪实时仿真,其仿真时间并不与实际时间同步,而与机器执行速度和模型复杂度有关。所以引入 NS2 的 Emulation 功能需要处理好两种软件的仿真同步问题。

2.2 SimEvents 建模实现

2.2.1 SimEvents 简介

现在 Mathworks 公司对最新的 MATLAB 扩展了离散事件仿真模块 SimEvents。SimEvents 是一个利用队列和服务台来建模并且进行离散事件系统仿真的工具^[9]。SimEvents 和 Simulink 为模拟包含连续时间、离散时间和离散事件成分的混杂动态系统提供了一个综合环境。在通信、汽车、电子系统、传感器网络及其他分布式控制应用等都有典型实例。这对应于 NCS 是典型的混杂系统的特点,比较适合用作 NCS 的联合仿真。

目前 SimEvents 已经提供了一些特定的网络仿真实例,都是针对具体网络应用的,但只涉及网络底层特性的模拟,如总线、ARQ 协议、以太网、CAN 总线。有必要进行更为普遍的涉及网络高层协议特性的网络仿真。

2.2.2 SimEvents 用于网络仿真的优点

利用 SimEvents 和 Simulink 结合起来进行混杂系统仿真时,是将 Simulink 中基于时间的模型的数据绑定到 SimEvents 所建模型的实体上,利用实体的离开事件促使信号的更新,从而影响基于时间的动态系统特性,达到仿真混杂系统的目的。这种方法不仅贴近实际情况,不依赖于编程技术将网络仿真中的延时等信息重新处理后再引入到动态系统,而且仿真使用更方便,不用繁琐的接口技术, MATLAB 强大的数学统计功能也更有利于结果分析。但由于在 MATLAB 上专门用于网络仿真的应用不多,尤其 SimEvents 是新工具,所以解决问题的关键在于利用 Simulink, SimEvents 建立专门用于网络仿真的平台。

2.2.3 基于 SimEvents 的网络基本构件 (链路) 建模

以链路为例子说明如何进行网络构件的建模。点对点单向链路对模拟分组传递延迟有这样三个部分^[7]: 分组在节点输出缓存的排队时延,节点在发送分组时使分组从节点进入到传输媒体所需的传输时延,在

信道中需要传播一定的距离而花费的传播时延。这三部分分别可以抽象成分组在队列、单服务台和无限服务台的延时,在 SimEvents 库中使用这些模块组合成单向链路(图 1)。在 NS2 中 DropTail 队列的大小默认值为 50,这里建模也使用这个默认值。

3 基于 SimEvents 的网络仿真实例

3.1 实例 1: UDP 仿真

考虑一个实例(图 2): 两个节点,一条单向链路的场景,该链路的带宽为 1Mbit/s,传播延迟为 10ms,队列类型为 DropTail。设定 CBR 流量发生器的分组大小为 500Byte。

用 SimEvents 对此范例建模(图 3)。

对此范例进行仿真,仿真时间为 10s,并在 NS2 中建立同样场景进行结果比较,性能评比指标包括端到端的延迟(End-to-End Delay)、分组丢失率(Packet Loss)。

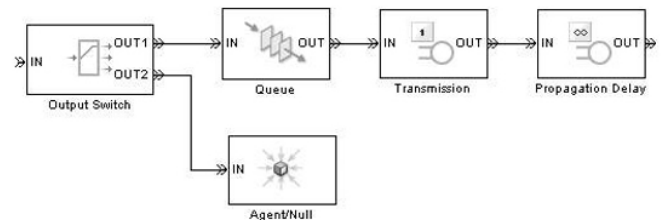


图 1 SmEvents 对单向链路的建模

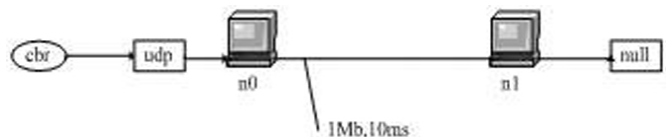


图 2 两个节点、单向链路的 UDP 范例场景

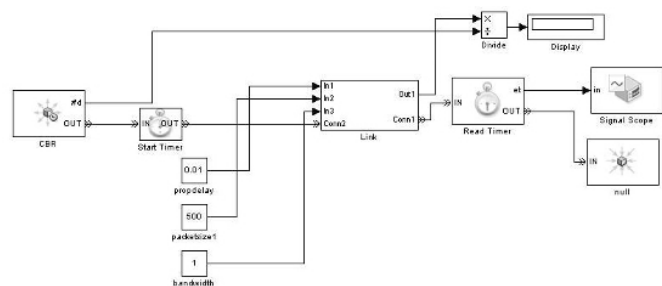


图 3 SmEvents 对两个节点、单向链路的 UDP 范例的建模

发送间隔为 5ms 时(无丢包)的端到端延迟都是 0.014 秒,如图 4、图 5。

发送间隔为 3ms 时(有丢包)的端到端延迟对比,饱和情况下端到端延迟在 0.208 秒、0.209 秒、0.210

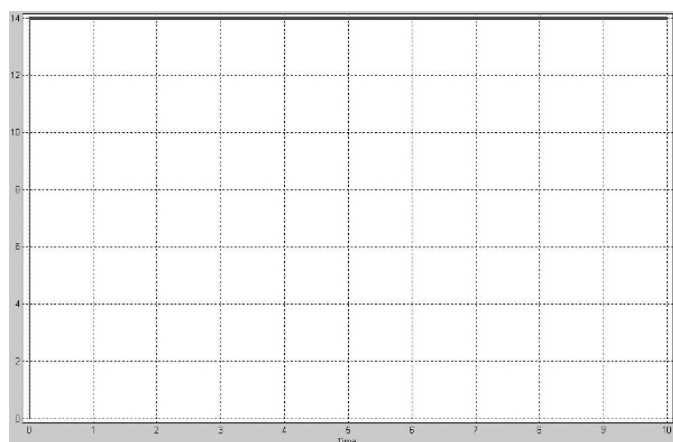


图4 SmEvents仿真得出的端到端延迟图
(纵坐标数量级为 ms)

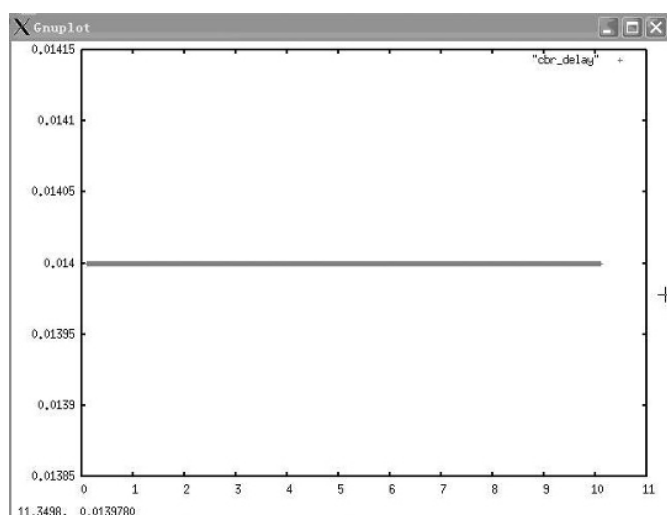


图5 NS2 仿真得出的端到端延迟图

秒几个值轮流变化,如图6、图7。

丢包情形下分组丢失率计算比较:SmEvents 所建模型仿真得出的分组丢失率为 23.52%,对 NS2 仿真得出的 trace 文件用 awk 所编程序^[9]进行分析,得出分组丢失率为 23.54%。

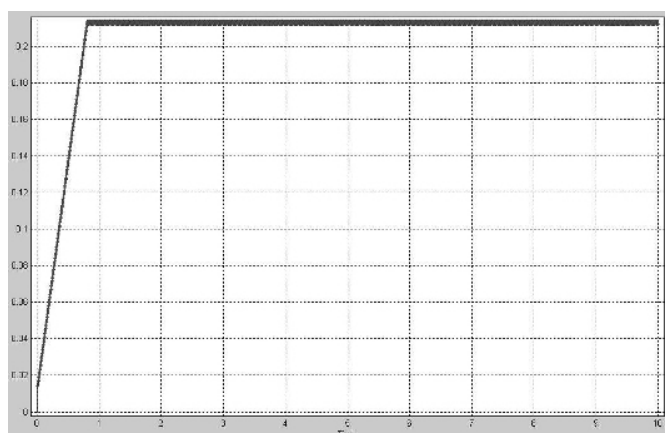


图6 SmEvents仿真得出的丢包情形
下端到端延迟图

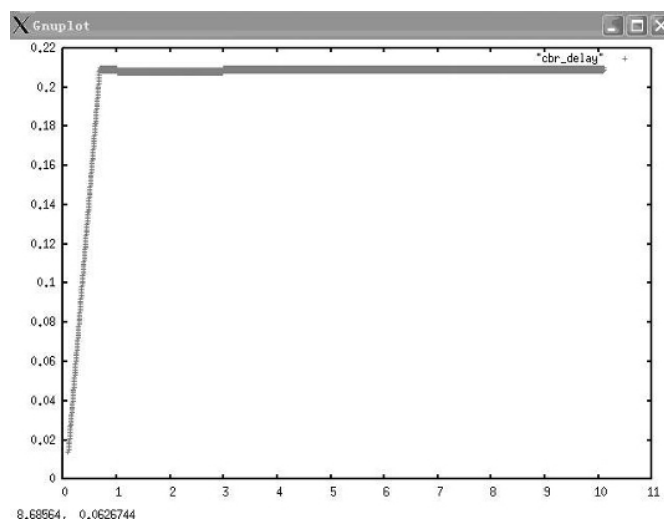


图7 NS2 仿真得出的丢包情形下端到端延迟图

3.2 实例 2: RED 主动式队列管理机制仿真

在计算机网络中,主动式的队列管理机制以 RED(随机早期检测)为代表,该机制是使用平均队列长度来预测即将发生的网络拥塞,并采用随机选择的方式对分组进行丢弃,使得在拥塞尚未发生之前就会让具有拥塞控制的传送端做流量速度管制,以避免拥塞发生。

依然考虑两个节点,一条单向链路的场景,在此仿真中队列容量为 50,设定的两个门限值为 5 和 15,加权系数为 0.002,预先设定的丢弃概率为 0.1,如图 8。

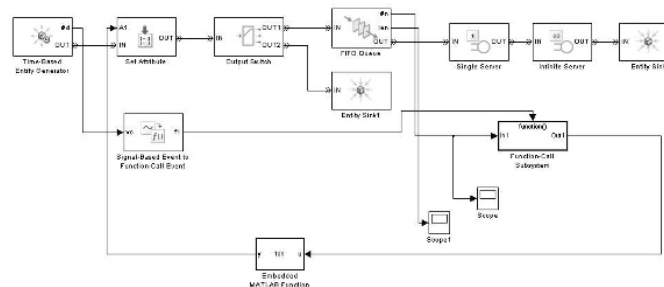


图8 基于 SmEvents 的 RED 仿真实例

图 9 的仿真结果说明:当队列中分组数达到满队列后,经过 RED 机制的管理,队列中的分组数会随着新进入的分组被丢弃而减少;当分组数减少到小于最低门限值后又会允许分组数进入队列,队列长度又增加,如此过程不断反复,说明建立的模型达到了 RED 管理的效果。

3.3 分析

由上面几个场景的仿真表明使用 SmEvents 可以
(下转第 1269 页)

能完全得到系统的可能性。因而,用一个小集合属性完全描述资源的问题需要得到解决。用于描述需要的语言应该可以描述请求信息,而不仅是每一资源属性的值。这将在下列场合很有益:如布置将来某个时候会被使用的资源请求。

3 结束语

网络资源的地理分布极广,资源之间、资源和客户以及客户之间往往通过广域网(如 Internet)连接;资源类型和数量巨大,而且要求一定程度的协同工作;资源是动态变化的,包括资源属性的变化,以及在网格内的复制和迁移等;资源工作在异构平台上,并且由不同的管理策略控制。在这样的环境中,需要有一种不依赖集中控制的、分布式、可扩展、能适应资源

动态变化并且定位性能好的资源发现机制。本文对网格资源发现问题的分析,对下一步资源发现机制的研究有很大帮助。

参考文献:

- [1]李伟,徐志伟,卜冠英,等.网格环境下一种有效的资源查找方法[J].计算机学报,2003,11.
- [2]Rowman c Mic et al.scalable internet resource discovery: research problems and approach communication of the ACM,1994,37(8):98- 101.
- [3]董方鹏,龚奕利,李伟,等.网格环境中资源发现机制的研究[J].计算机研究与发展,2003,40(12):1749-1750.

(上接第 1257 页)

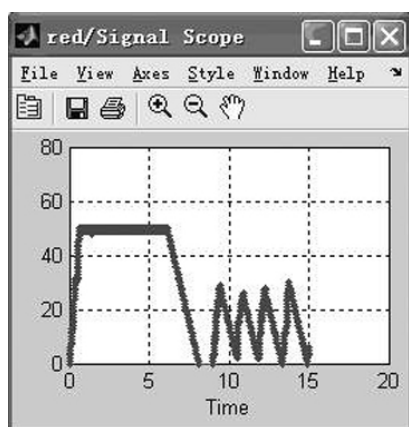


图 9 仿真 15 秒,观测队列中的分组数

实现对诸如网络节点、链路、UDP、CBR 流量发生器等构件构成的网络进行如 UDP、队列管理机制等一般的网络仿真实验,且建模仿真过程、统计计算都比较方便。

4 结论

本文根据常用网络仿真软件 NS2 的仿真建模原理,利用 MATLAB 新扩展的离散事件仿真工具 SmEvents 实现具有普遍意义的网络仿真,并对 UDP 等网络高层协议功能进行了仿真。这种方法使得网络仿真部分建模容易,仿真有效,统计计算方便,而且与 MATLAB/Simulink 无缝集成,可以充分发挥它们对控制系统建模、设计及仿真的强大功能。为了完善 SmEvents 的网络仿真功能,将来有必要针对 TCP、路由、无线网络等作进一步的建模仿真研究,使其适合基于多种类型网络

的仿真。以适合 NCS 联合仿真等应用。

参考文献:

- [1]M. S. Branicky, V. Liberatore and S. M. Philips. "Networked Control System Co-Simulation for Co-Design," in Proc. American Control Conference, vol.4, Denver, USA, pp. 3341- 3346.
- [2]Martin Ohlin, Dan Henriksson and Anton Cervin. "TrueTime 1.5 - Reference Manual," <http://www.control.lth.se>, January, 2007.
- [3]李洪波,吴凤鸽,孙增圻.等.网络控制系统仿真平台的设计与实现[J].系统仿真学报,2006,18(6):1700-1704.
- [4]杨素林.基于 NS2 的网络化控制系统综合仿真平台的研究[D].武汉:华中科技大学,2005.
- [5]The MathWorks, Inc. "Getting Started with Sim-Events," <http://www.mathworks.com>, September, 2006.
- [6]The VINT Project. "The ns Manual," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>, December 24, 2006.
- [7]谢希仁.计算机网络.北京:电子工业出版社,2003.
- [8]柯志亨,程荣祥,谢锡坤.等.计算机网路实验——以 NS2 模拟工具实作.台北:学贯行销股份有限公司,2005.