

文章编号:1001-9081(2007)08-1868-03

## 基于 J-Sim 仿真的 WSN 能量模块设计与实现

李致远<sup>1</sup>, 闵林<sup>2</sup>, 毕俊蕾<sup>1</sup>

(1. 河南大学 计算机与信息工程学院, 河南 开封 475004; 2. 河南大学 网络中心, 河南 开封 475004)

(lzy81@henu.edu.cn)

**摘要:**针对 J-Sim 下传感器网络框架不支持能耗仿真的问题, 借鉴 NS-2 下传感器网络能量模块的设计思路, 结合网络仿真器 J-Sim 的特点, 在现有的传感器网络框架基础上扩展了能量模块。最后通过两种路由协议 (AODV、GPSR) 进行仿真验证, 实验结果表明改进后的传感器网络框架可以真实的仿真无线传感器网络, 获取有价值的仿真结果。

**关键词:**网络模拟; J-Sim 仿真; 能耗仿真; 无线传感器网络

**中图分类号:** TP393.01; TP391.9 **文献标志码:** A

## Design and implementation of energy module for WSN based on J-Sim

LI Zhi-yuan<sup>1</sup>, MIN Lin<sup>2</sup>, BI Jun-lei<sup>1</sup>

(1. College of Computer and Information Engineering, Henan University, Kaifeng Henan 475004, China;

2. Network Center, Henan University, Kaifeng Henan 475004, China)

**Abstract:** As the sensor network framework in J-Sim can not support energy consumption simulation, the designing idea in NS-2 was used for reference, and the energy module was extended in the existing sensor network framework considering the characteristics of J-Sim. Then two routing protocols (AODV、GPSR) were implemented on J-Sim. It shows that the improved sensor network framework can actually simulate Wireless Sensor Network (WSN) and obtain valuable simulation results.

**Key words:** network simulation; J-Sim simulation; energy simulation; Wireless Sensor Network (WSN)

### 0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN) 中的传感器节点具有的能量、处理能力、存储能力和通信能力等都十分有限, 所以传感器网络的首要设计目标是能源的高效使用, 这也是它与传统网络最重要的区别之一<sup>[1]</sup>。而对 WSN 的研究主要以仿真为主, 因此对仿真平台下能量模型研究具有十分重要的意义。

目前对 WSN 的研究常采用 NS-2 做仿真验证。NS-2 是一个由 UC Berkeley 开发的用于仿真各种 IP 网络的仿真软件, 它的特点是源代码公开, 速度和效率优势明显。但是, NS-2 的复杂性一直是它广泛应用的障碍。而且它的组件的可重构性较差, 节点结构不够灵活, 发现和修改 bug 所花费的时间较长。

本文引入一种组件化、易扩展的网络仿真器 J-Sim<sup>[2]</sup>。该仿真软件是一个基于 Java 开发的网络仿真软件, 在设定好的拓扑结构上, 选用仿真时间, 内存消耗作为衡量仿真器性能优劣的两个指标做仿真实验, 结果表明其性能优于 NS-2<sup>[3,4]</sup>。此外, J-Sim 基于组件的开发模式, 使得软件中模块之间耦合性、可重构性和可扩性比 NS-2 更强<sup>[5]</sup>。美国 DRCL 实验室于 2003 年在 J-Sim 平台上搭建了传感器网络框架<sup>[6]</sup>, 但到目前为止仅发布了一些测试传感器网络框架的代码, 最关键的问题是仿真框架不支持能量仿真。

在分析了现有 J-Sim 下传感器网络框架的特点后, 借鉴 NS-2 下传感器网络能耗模块<sup>[7]</sup>的成功经验, 在传感器网络框架下添加了能耗模块, 使其不但可以仿真单个节点的能耗, 还可仿真全网能耗。根据改进后的模型编写了 TCL 脚本对 AODV、GPSR 进行了仿真, 结果表明该改进后的仿真软件可以仿真 WSN 的运行, 获取有关路由协议性能的仿真数据。

### 1 J-Sim 特点及 WSN 框架

#### 1.1 J-Sim 技术特点

J-Sim 是一种基于 Java 的、开放源代码的、实时进程驱动的网络仿真平台。它除了支持 IP 网络之外, 还支持多种有线 (MPLS、区分服务、综合服务) 和无线网络 (Ad hoc 网络、无线传感器网络), 能够对不同网络层次、不同网络结构、不同网络组件进行实时仿真。

J-Sim 是一个组件化、可扩展的网络仿真平台。在 J-Sim 平台下, 组件是一个基本的单位, 组件之间通过端口连接, 通过协议通信。从网络环境的角度看, 主机、路由器、TCP/IP 协议等网络实体都是组件。而整个平台是以自治组件框架 (Autonomous Component Architecture, ACA)<sup>[8]</sup>为基础的, 所谓 ACA 是指它的架构思想仿效数字电路中 IC 芯片的设计和制造, 一个组件与另一个组件相互独立。软件系统由组件有机地组合起来类似于一块印刷电路板上焊接芯片, 甚至在系统运行时还可以添加组件。

收稿日期: 2007-02-06; 修回日期: 2007-04-11。

基金项目: 河南省科技厅自然科学基金资助项目 (0411014100); 河南省教育厅自然科学基金资助项目 (2006520001)。

作者简介: 李致远 (1981-), 男, 河南开封人, 硕士研究生, 主要研究方向: 网络仿真; 闵林 (1963-), 男, 河南开封人, 副教授, 主要研究方向: 无线传感器网络; 毕俊蕾 (1981-), 女, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线传感器网络。

### 1.2 J-Sim 中 WSN 框架

DRCL 实验室于 2003 年提出了如图 1 所示的无线传感器网络模型,该模型按照现实中传感器网络的体系结构抽象出传感器、Sink 节点和目标节点对象。目标对象与传感器对象之间通过传感器信道通信,由于传感器主要是对检测区域采集数据,因此该通信是单向的;传感器对象与 Sink 节点对象之间通过无线信道通信,该通信是双向的。传感器是该模型的主体,图 2 为无线传感器节点的内部结构图,传感器节点对象由无线模块和传感模块组成。文献[6]在此框架上实现了无线传感器网络仿真,但仿真主要针对于测试代码的正确性和模型设计的合理性,仅能得到信噪比这样的简单性能分析,而无法获取仿真传感器网络更为重要的性能指标。此外,更重要的是图 2 并没有涉及到能量模块。

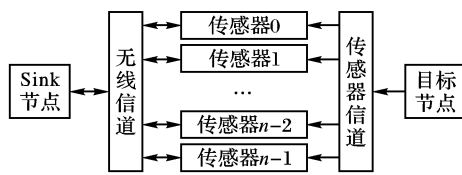


图 1 无线传感器网络框架

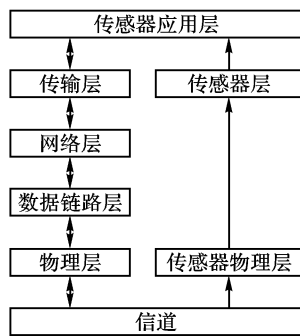


图 2 无线传感器节点结构

### 1.3 改进的 WSN 框架

借鉴在 NS-2 下传感器网络能耗模型的设计思路<sup>[7]</sup>,结合 J-Sim 的技术特点,从图 2 中的物理层扩展出能量模型如图 3 所示。其设计思想根据传感器节点通信的空闲 (Idle)、睡眠 (Sleep)、发送 (Tx)/接收 (Rx) 状态分别进行阐述:

1) 当数据包从信道到达物理层的“. channel@”时,调用 dataArriveAtChannelPort(),该方法除了传输数据包到上层组件外,还会调用 updateEnergy()方法刷新能量。updateEnergy()方法根据包格式中的 type 域进行判断,发现是 Rx,就调用能量模型中的 updateRxEnergy(double)方法刷新能量。

2) 当数据包从数据链路层组件到达物理层的“23@”时,调用 dataArriveAtUpPort(),该方法除了传输数据包到下层组件外,还会调用 updateEnergy()方法刷新能量。updateEnergy()方法根据包格式中的 type 域进行判断,发现是 Tx,就调用能量模型中的 updateTxEnergy(double)方法刷新能量。

3) 如果无数据包传送,则调用 processOther(Object, Port)方法,根据 setTimeout(Object evt\_, double time)中设置的时间,如果在 time 时间内,就调用能量模型中的 updateIdleEnergy(double)方法刷新能量;反之,节点进入休眠状态,调用能量模型中的 updateSleepEnergy(double)方法刷新能量,直到有数据包传送时才被重新激活,重新转到 1) 或者 2)。

把仿真过程中随时间变化的能量消耗序列通过物理层的

“. energy@”以事件的形式传递给 Plot\_组件,最终以图的形式显示出来。具体的实现如下:

1) 在能量模型中根据真实的 WSN 下 4 种状态的能量消耗值,设定 4 个能量消耗常量,添加 updateRxEnergy(double)、updateTxEnergy(double)、updateIdleEnergy(double)和 updateSleepEnergy(double)共 4 个方法,以刷新不同状态下的能量。

2) 在物理层中,添加“. energy@”端口并设置其为事件端口,为的是能从该端口输出能量改变的事件,把能量模型装入物理层中以便调用。添加 dataArriveAtUpPort()用于处理到达“up@”的数据包,添加 dataArriveAtChannelPort()用于处理到达“. channel@”的数据包,添加 processOther(Object, Port)方法用于处理无数据包传送时的情况,添加 updateEnergy()方法得到不同状态下的能量消耗。以上方法都通过调用 updateEnergy()来刷新节点能量消耗。调用系统的 setTimeout(Object evt\_, double time)设置退出事件的时间,添加 Timeout()处理超出 time 时间的情况,被 processOther(Object, Port)方法调用。

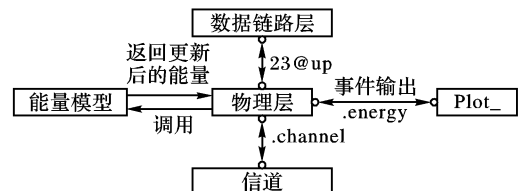


图 3 扩展的能量模型

无线传感器模块中扩展能量模型相关的网络组件:

- 1) 通过实现 IEEE 802.11 协议实现了数据链路层组件。
- 2) 物理层组件主要模拟无线网卡的一些物理层的特性,并可以仿真/计算出每一帧的信号强度。
- 3) 能量组件位于物理组件内部,用于跟踪无线节点的能量消耗。
- 4) 信道组件模拟了一条共享信道。
- 5) Plot\_组件用于收集仿真结果信息,通过 Plot 图像显示出来。

## 2 仿真实验

本节以 AODV、GPSR 作为路由协议,以图 4 为传感器网络拓扑结构,验证改进的 WSN 模型的有效性。图 4 由六个节点 (n0 - n5) 排成一队,相邻的两个节点之间的距离是 200m。由于 IEEE 802.11 默认的传输距离为 250 m,所以的节点只能和它的相邻节点通信。建立 3 条 TCP 连接 (n0→n3, n1→n4, 和 n2→n5)。节点被部署在 (2000 × 2000) m<sup>2</sup> 的区域内,区域被划分成 300 × 300 小长方格。假设全网初始能量相同。

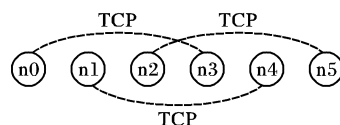


图 4 仿真拓扑图

仿真软件启动后,会自动弹出 Plot 窗口并实时模拟网络的运行情况,即时获取网络的性能参数。图 5 为仿真 AODV 获得的即时网络性能参数,图 6 为仿真 GPSR 获得的即时网络性能参数。

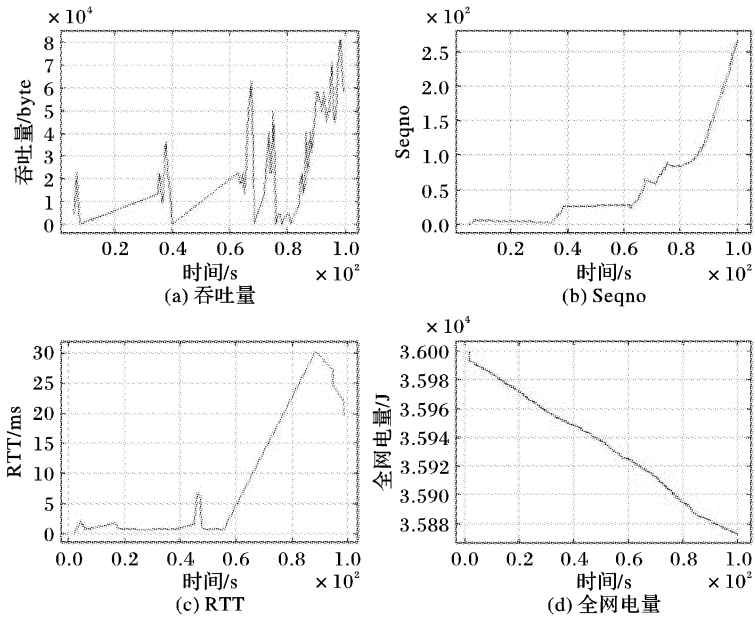


图5 仿真 AODV 获得的即时网络性能参数

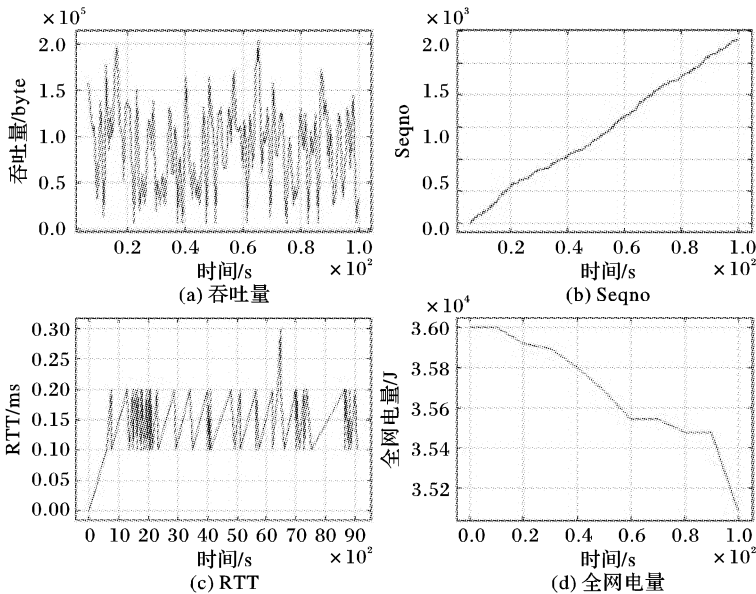


图6 仿真 GPSR 获得的即时网络性能参数

表1 AODV 和 GPSR 仿真结果对比

	AODV	GPSR
数据包序列号	发生逆序	正常
吞吐量	低	高
传输时延	高	低
全网电量	低	高

由 AODV 路由发现机制<sup>[9]</sup>并参照图 4 的拓扑结构可知,仿真开始时,AODV 首先进入路由发现阶段。当 n0 节点发现不存在到达 n3 节点的路由时,就发送广播请求到下一个节点,如果不是目的节点就继续向下一个节点发请求,如此反复直到返回确认包为止,从而建立一条 n0 到 n3 的路由。然后才开始转发数据包。而 GPSR 直接根据邻居节点的位置信息转发数据包,省去 AODV 复杂的路由发现过程。从 AODV 仿真结果图上看,在仿真的前 82 s 内包序列号、吞吐量、传输时延参数表明网络性能有些异常,而 82s 之后就变得比较正常。这正印证了理论中的 AODV 路由过程,即前 82 s 仿真了 AODV 的路由发现过程,之后进入正常的数据转发阶段。从

GPSR 仿真图可以看出,在整个 100 s 的仿真中路由协议很快进入了数据转发阶段,且从性能参数看,网络性能良好,这也印证了 GPSR 路由过程。但在全网电量方面,GPSR 耗能比 AODV 稍多一些,这对于能源优先的无线传感器网络来说非常重要。路由协议理论和路由协议仿真结果一致,这表明改进的无线传感器模块完成了无线传感器网络仿真的任务,可以作为无线传感器网络研究的可信工具。

### 3 结语

介绍了一种组件化、易扩展的网络仿真器 J-Sim,并在其无线传感器模块基础上扩充了能量模型,使用 AODV 和 GPSR 路由协议进行仿真实验。实验结果表明改进后的无线传感器网络模型可以仿真无线传感器网络的运行,获取有价值的仿真参数,这为以后对 WSN 的研究提供了新的仿真平台。在以后的工作中,将主要针对 WSN 的路由协议进行改进,并通过该仿真平台验证算法的优劣。

#### 参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社,2006.
- [2] TYAN H-Y, GAO Y, HOU J, *et al.* Tutorial: working with j-sim[EB/OL]. (2003-12-30)[2007-01-05]. [http://www.j-sim.org/tutorial/j-sim\\_tutorial.html](http://www.j-sim.org/tutorial/j-sim_tutorial.html).
- [3] TYAN H-Y. Design, realization and evaluation of a component-based compositional software architecture for network simulation[D]. Ohio: The Ohio State University, 2002.
- [4] SOBEIH A, CHEN W-P, HOU J C, *et al.* J-sim: a simulation environment for wireless sensor networks [C]// Proceedings of the 38th IEEE Annual Simulation Symposium (ANSS'05). [S. l.]: IEEE Press, 2005: 175-187.
- [5] TYAN H-Y, SOBEIH A, HOU J C. Towards composable and extensible network simulation [C]// Proceedings of the 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'05). Washington: IEEE Computer Society, 2005, 11: 225.
- [6] SOBEIH A, CHEN W-P, HOU J C, *et al.* A simulation framework for sensor networks in J-SIM[EB/OL]. (2003-12-30)[2007-01-05]. [http://www.j-sim.org/v1.3/sensor/sensornets\\_tutorial.htm](http://www.j-sim.org/v1.3/sensor/sensornets_tutorial.htm).
- [7] The Vint Project, FALL K, VARADHAN K, *et al.* The ns manual [EB/OL]. [2007-01-05]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/index.html>.
- [8] TYAN H-Y, GAO Y, HOU J, *et al.* Abstract network model and J-Sim[EB/OL]. [2007-01-05]. <http://www.j-sim.org/whitepapers/ns.html>.
- [9] ROYER E M, TOH C-K. A review of current routing protocols for Ad hoc mobile wireless networks[J]. IEEE Magazine on Personal Communication, 1999, 17(8): 46-55.
- [10] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C]// Proceedings of the sixth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiComm'00). New York: ACM Press, 2000: 243-254.