

一种无线多媒体传感器网络仿真器设计方案

王 栋, 王小明, 吴三斌, 付 红, 白东亮

(陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘 要:无线多媒体传感器网络扩展了传统无线传感器网络的应用范围,延伸了人们感知世界的物理空间,其在军事、民用、商业等诸多领域都具有十分广阔的应用前景。网络仿真技术作为传感器网络研究的基础,在这个快速发展的研究领域逐步成为测试新网络应用与验证新协议算法的通用方法。无线多媒体传感器网络虽已成为当前研究热点,但适于其个性特征的仿真实验工具仍然滞后。分析了无线传感器网络仿真技术,针对现有仿真实验工具的缺陷与不足,结合仿真无线多媒体传感器网络时所遇到的新问题,提出了一种无线多媒体传感网络仿真器的设计方案,并给出了该方案关键部分的实现框架。

关键词:无线多媒体传感器网络;网络仿真技术;仿真器

中图分类号:TP393.01

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)09-0001-05

Design of Simulator for Wireless Multimedia Sensor Networks

WANG Dong, WANG Xiao-ming, WU San-bin, FU Hong, BAI Dong-liang

(College of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: As a special application and extension of the traditional Wireless Sensor Networks (WSN), Wireless Multimedia Sensor Networks (WMSN) expand human's horizon to any physical space. It has shown its potential in a wide spectrum from military to industry, from commercial to environmental monitoring and so on. Network simulation is fundamental to study sensor networks, and is being the common way to test new applications and protocols in this evolving research field. The research of WMSN has become the hot issue, but the development of simulation experimental tools for WMSN is lagging behind. In this paper, analyzed existing simulation tools comprehensively and found that they have a lot of deficiencies if they are used for the researches of WMSN. A design of simulator for WMSN is proposed and a solution with its implementation framework is fit for new features of WMSN.

Key words: wireless multimedia sensor networks; network simulation; simulator

0 引言

无线传感器网络(WSN)是传感、计算及通信三大学科交叉应用的成果,是延伸现有互联网服务范围的新型分布式系统,是互联网拓展至物联网的关键技术之一。传感器网络作为整个网络的“感知神经末梢”,在国土安全、抢险救灾、生态保护、环境监测、交通管理、医疗卫生等诸多领域具有十分广阔的应用前景^[1]。无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSN)是在无线传感器网络的基础架构中添加多媒体传感器等新型物理器件,由多种类型传感器节点混合异构组成,通过获取网络覆盖范围内多

种媒介信息(包括温度、湿度、压强等标量信息与音频、视频、图像等多媒体信息),实现更加全面的感知功能^[2]。WMSN扩展了无线传感器网络的应用范围,其实用价值使WMSN成为新研究热点,但目前还缺少专用于仿真WMSN的实验工具。使用现有实验工具仿真WMSN时常遇到不适用于其多媒体特点的问题(包括定向感知、区分服务、实时传输控制等),且这些仿真实验工具自身在仿真可靠性、功能扩展性、操作易用性等方面仍有许多亟待改进的缺陷。由笔者参与WMSN研究课题,设计一种适用于仿真WMSN的实验工具,从而推进无线多媒体传感器网络领域的相关研究工作。

1 无线传感器网络仿真技术

仿真技术既贴近实测情况又节省实验成本,且易于配置和控制大规模分布式系统的运行,因此已成为研究与分析无线传感器网络的主要技术手段。目前用于仿真无线传感器网络的实验工具有许多,按其可仿

收稿日期:2011-02-21;修回日期:2011-05-21

基金项目:国家自然科学基金(60773224;60970054);教育部科学研究重点项目(107106)

作者简介:王 栋(1981-),男,陕西西安人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络;王小明,博士,教授,博士生导师,研究方向为普适计算、无线传感器网络。

真事件的粒度差异划分为面向节点的指令级仿真器与面向网络的系统级仿真器两大类^[3,4],如图 1 所示。

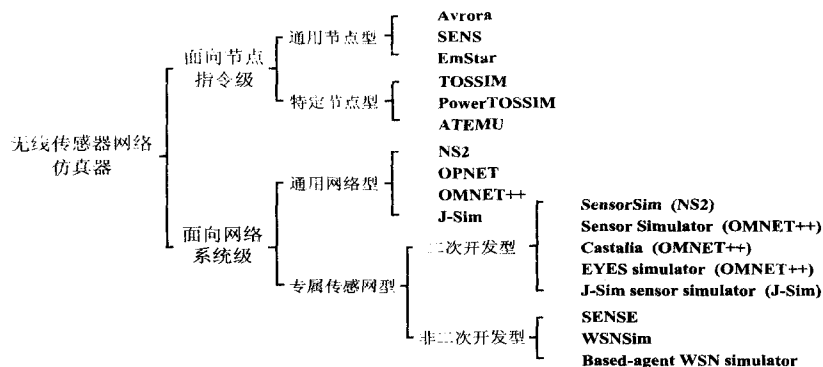


图 1 无线传感器网络仿真器的分类

(1) 面向节点的指令级仿真器。

该类型仿真器通常按照无线传感器节点内各物理元件一对一等效构建,主要用于测试程序指令在写入物理节点前的执行情况(包括正确性、鲁棒性等)。其仿真过程是将节点事务处理工作映射至芯片系统指令集,并逐条检测运行。因此,该类实验工具仿真速度较慢,只适用于单节点的代码调试,较少用于多节点间网络行为的仿真。

面向节点的指令级仿真器按其适用范围或实验针对性又可划分为特定节点型与通用节点型两种。特定节点型仿真器,仅限用于某品牌或某系列传感器节点的仿真,该类常用仿真器包括 TOSSIM, PowerTOSSIM, ATEMU 等。通用节点型仿真器,广泛用于各类具有相同指令集传感器节点的仿真,该类常用仿真器包括 Avrora, SENS, EmStar 等。

(2) 面向网络的系统级仿真器。

该类型仿真器通常按照无线传感器网络中各抽象元素一对一等效构建,主要用于验证系统协议或算法在应用于实际网络前的运行情况(包括有效性、节能性等)。其仿真过程是将网络任务执行工作分配至各抽象元素模型,并逐个调用运行,各元素模型离散、有序地参与该过程并简化了模型内部非必要的处理步骤。因此,该类实验工具仿真速度较快,更适用于网络系统的协议/算法分析,较常用于大规模网络行为的仿真。

面向网络的系统级仿真器按其适用范围或实验针对性又可划分为通用网络型与专属传感网型两种。

通用网络型仿真器,可用于各类有线或无线网络(包括无线传感器网络)的仿真,该类常用仿真器包括 NS2, OPNET, OMNET++, J-Sim 等。这些实验工具作为通用仿真平台虽然功能强大,但缺乏针对无线传感器网络特点的设计(包括电池能量模型,专属通信协议等),因此专用于仿真无线传感器网络的实验工具

(即专属传感网型仿真器)相继出现。

专属传感网型仿真器按其是否基于通用仿真平台

扩展构建,继续可划分为二次开发型与非二次开发型。基于通用平台设计的二次开发型仿真器,包括基于 NS2 开发的 SensorSim;基于 J-Sim 开发的 J-Sim sensor simulator;基于 OMNET++ 开发的 Sensor Simulator, Castalia, EYES simulator 等。独立设计的非二次开发型仿真器,包括国外有 SENSE 等;国内有浙江大学的陈积明等人提

出了 WSNSim^[5],中国科学院沈阳自动化研究所的梁韦华等人设计了基于角色面向 Agent 的传感器网络仿真平台^[6]等。

根据上述仿真技术分析,设计专用于仿真无线传感器网络、基于通用仿真平台快速构建、功能可扩展且运行高效的仿真器将是该技术领域的发展趋势,同时这也符合实验仿真需求。

2 仿真 WMSN 存在问题

依据课题研究方向(包括 WMSN 定向覆盖、服务质量路由、传输控制等)与当前研究阶段(协议与算法的原型验证阶段)的实验仿真需求,选择现有面向网络系统级、专属传感网、二次开发型的仿真器作为备选的研究实验工具。但经过对该类仿真器的试用与分析,发现使用其仿真 WMSN 仍面临诸多问题,且这些仿真器自身还存在某些缺陷:

①适用性问题。WMSN 中多媒体传感器节点的工作状态、能耗模型、感知覆盖模型等都发生了改变,且 WMSN 对需求不同的感知数据提出了区分服务的差异化传输质量要求。仿真 WMSN 的实验工具是否针对其新特点设计,适用于研究与分析 WMSN?

②可靠性问题。无线传感器网络在实际应用中常采用 802.15.4 短距低功耗通信协议,但目前大部分仿真器仍未实现该协议。仿真 WMSN 的实验工具是否可以实现更接近实测情况的底层通信协议,保证仿真数据的可靠性?

③扩展性问题。无线传感器网络发展日新月异,伴随相关研究推进其实验仿真需求也在不断变化。仿真 WMSN 的实验工具是否可以不断扩展功能与服务,灵活地完成各类仿真实验任务?

④易用性问题。学习与使用仿真器常要经历一个较复杂的过程,且要花费较长的时间。仿真 WMSN 的实验工具是否可以引导用户使用、简化操作流程,便于实验者掌握并提高实验效率?

根据上述仿真 WMSN 问题分析,针对 WMSN 的多媒体特点与现有仿真技术的缺陷给出相应的解决方案,并在此基础上设计一种新的 WMSN 仿真器。

3 仿真 WMSN 设计方案

(1) 适用性设计。

WMSN 仿真器将采用实验工具 SENSE 中传感器节点模型作为抽象原型,保留其完整的节点结构、精确的能耗模型等专属于传感器网络的特性,同时更改节点模型的内部组件,使其更适于仿真 WMSN 的新增需求(包括定向覆盖、区分服务等),如图 2 所示。具体设计工作如下:

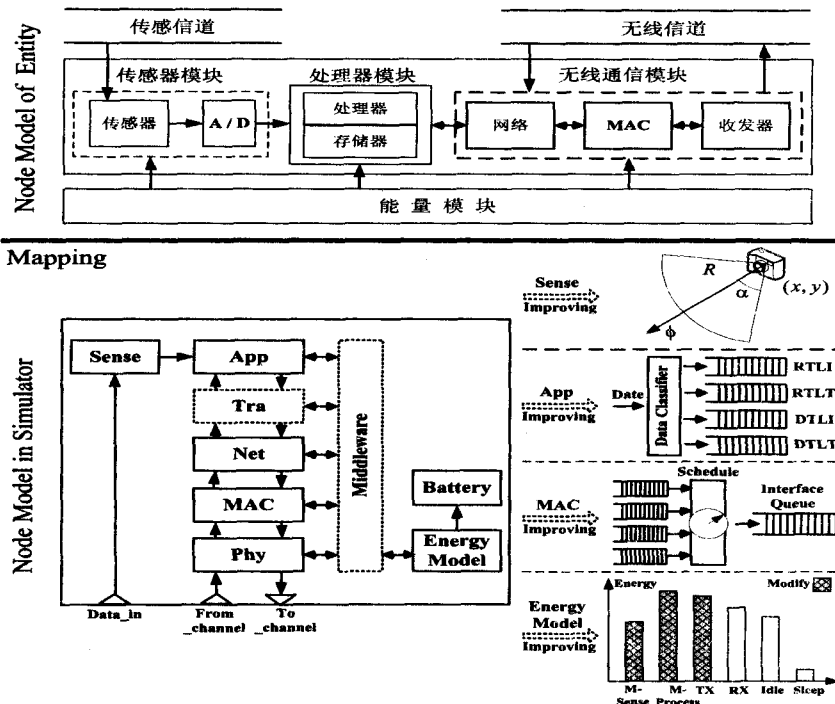


图 2 改进的 WMSN 节点模型

①改进信息感知组件(Sense)。该组件将增设节点定向感知模型^[7],可表示为包含节点地理位置信息、感知轴向量、感知半角、感知半径的四元组 $((x, y), \theta, \alpha, R)$,以此准确地描述 WMSN 定向覆盖问题。

②改进应用层组件(App)。该组件将借鉴文献[2]提出的 WMSN 中传输数据分类,把数据包按实时性与重要度分为 RTLI(Real-Time and Loss-Intolerant), RTLT(Real-Time and Loss-Tolerant), DTLI(Delay-Time and Loss-Intolerant), DTLT(Delay-Time and Loss-Tolerant)四种类别,以此作为 WMSN 区分服务的前提与基础。

③添加传输层组件(Tra)。该组件将由应用层组件(App)、网络层组件(Net)、数据链路层组件(MAC)、物理层组件(Phy)的公用服务接口(Service Interface)构成,以此使 WMSN 节点模型具有更完整的

结构且更贴近实际通信协议栈,同时便于完成与传输层相对应的仿真任务。

④改进数据链路层组件(MAC)。该组件将增设数据队列管理模型^[8],添加基于 App 区分数据包类别的优先级调度机制(Schedule),以此实现 WMSN 区分服务。

⑤改进能耗测算组件(Energy Model)。该组件将根据新的 WMSN 能耗分布模型更改节点在多媒体感知(Sensing Multimedia, M-Sense)、多媒体处理(Processing Multimedia, M-Process)、数据传送(Transmit, TX)等工作状态的能耗评估公式,以此精确地仿真 WMSN 的能耗水平^[9]。

⑥添加中介层组件(Middleware)。该组件将在不改变原通信协议栈结构的基础上协同与调度各层组件的工作,以此使 WMSN 节点模型更易于仿真跨层设计的协议与算法^[10],同时可更准确地分层统计能耗。

(2) 可靠性设计。

依据现有仿真技术的发展趋势,将采用基于通用仿真平台二次开发的方式快速构建功能可靠的 WMSN 仿真软件。该仿真软件架构按其内部模块的实现关联度可划分为下层仿真引擎与上层仿真机构两部分,如图 3 所示。

①仿真技术的可靠性。

二次开发型仿真器中大部分以 OMNET++作为基础仿真平台,其原因:OMNET++对比其它通用仿真工具执行效率更高(即完成同等规模的仿真任务,其所用仿真时间更短、内存消耗更小);OMNET++由开源社区维护易于更新又便于获得帮助,其商用版本 OMNEST 已获得各大网络设备生产商的支持,说明其仿真技术值得信赖并具有较好发展前景;基于 OMNET++二次开发

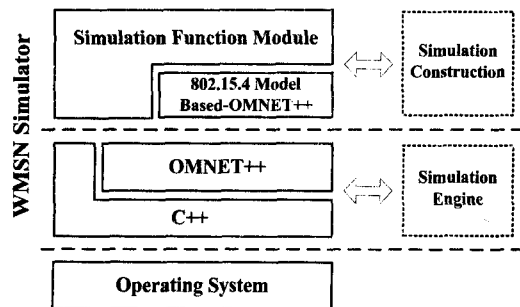


图 3 仿真软件的总体架构

的仿真工具有诸多实例,这为构建新的仿真器提供了许多可复用的组件。因此,WMSN 仿真器的底层仿真引擎将选用 OMNET++作为基础向上层仿真机构的运行提供简单而可靠的服务,同时融合可直接调用系统指令集的部分 C++模块,以这种混合编程方式完成二次开发无法实现的功能。

②仿真结果的可靠性。目前大部分仿真器只实现 802.11b 网络底层通信协议,无线传感器网络常用的 802.15.4 (ZigBee) 协议对比 802.11b (Wi-Fi) 协议在通信特点方面表现为低功耗、低成本、低延时、大规模等^[11],这些明显差异可能直接影响上层协议与算法的执行结果。因此,WMSN 仿真器可借用文献[12]开发的同样基于 OMNET++构建的 802.15.4 底层通信模型,将其融入上层仿真机构并替换原 802.11b 通信模型,以此构建贴近实测网络的通信情况从而获得可靠的仿真数据。

(3) 扩展性设计。

WMSN 仿真器的关键部分(即上层仿真机构)将采用一个可扩展的通用仿真结构,该结构可分割为仿真模型配置、仿真协议/算法配置、仿真控制、仿真运行环境、仿真结果输出共五个主要功能模块,如图 4 所示。可将各项仿真任务类比为场演出,依剧本(仿真协议/算法),选定演员与道具(仿真模型),由导演掌控(仿真控制),在舞台表演(仿真运行),与观众共鸣(仿真结果)。明确上述模块间的界限、规划各模块的调用接口、制定参数配置文件与结果输出文件的格式、设计协议与算法脚本的解释器与表示层接口、设置仿真控制流程与仿真状态转换关系等,这些工作可将整体结构灵活地分割为可重组、复用的软件模块,保证 WMSN 仿真器具有较好的扩展性。

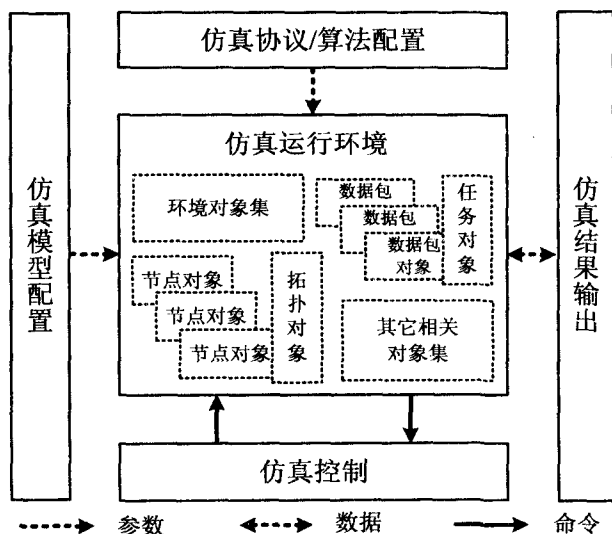


图 4 可扩展的上层仿真机构

(4) 易用性设计。

WMSN 仿真器将采用引导式的用户界面规范其仿

真操作流程,也将提供修改配置文件的直接操作方式,这样既便于一般实验人员快速掌握,又易于熟练操作人员灵活使用。该仿真器在仿真数据处理过程中还将引入数据库技术,借鉴典型数据库应用系统的三层结构(即功能表示层,业务处理层与数据处理层)^[13](见图 5),聚合原来分散存储在各文本文件的仿真数据,利用数据库强大的挖掘功能提升数据处理效率,并可方便地扩展、定制各种通用或特定的仿真数据统计分析功能满足不断变化的实验需求。

4 关键部分实现框架

以下将从软件的静态功能结构与动态运行结构两方面,描述并分析 WMSN 仿真器关键部分的实现框架。

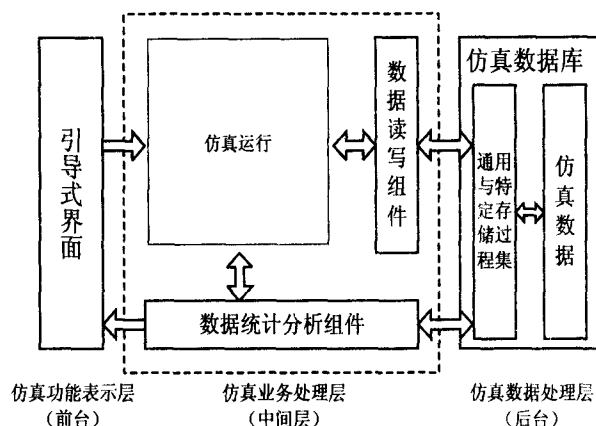


图 5 仿真数据处理的三层结构

(1) 静态功能结构。

上层仿真机构扩展于一个通用仿真软件结构(如图 4 所示),可将其细化为 WMSN 仿真器的功能模块图(如图 6 所示),并据此进一步转化为上层仿真机构类图(如图 7 所示)。其中,用户界面功能以系统视图类(CSysView)实现;模型配置功能以相关参数配置类及文件读写接口实现(包括 CParaConfig, IParaConfigFileRW);协议/算法配置功能以相关参数配置类及脚本扩展接口实现(包括 CAlgConfig, CAlgBase, IAlgExtend);仿真控制功能以控制操作类、控制参数设置类及仿真时钟类实现(包括 CSimuControl, CSimuSetup, CSimuTime);仿真运行环境的主要部分由网络拓扑类(CTopoModel,其中包含各种节点类 CSinkNode, CSalaNode, CMultimediaNode 等)与传输任务类(CTaskModel,其中包含若干数据包类 CMsgModel)构成;仿真结果输出功能以数据读写类、统计分析类及结果显示类实现(包括 CDateBaseRW, CSimuAnalysis, CAnalysisDate, CResOutput 等)。

(2) 动态运行结构。

①仿真网络运行。应用任务(Task)驱动源节点

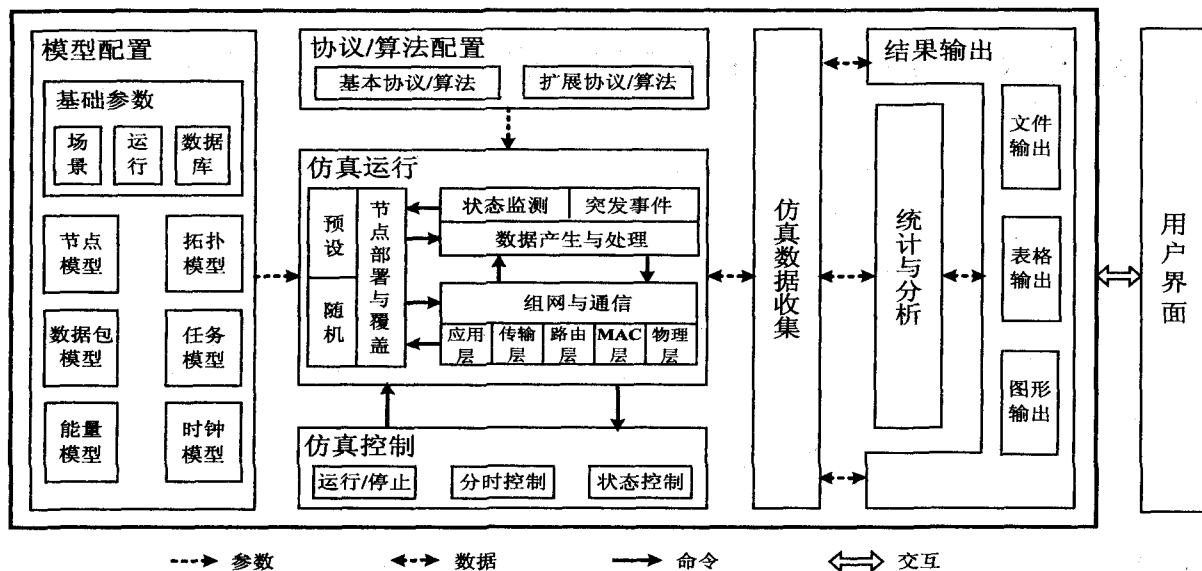


图6 WMSN仿真器功能模块图

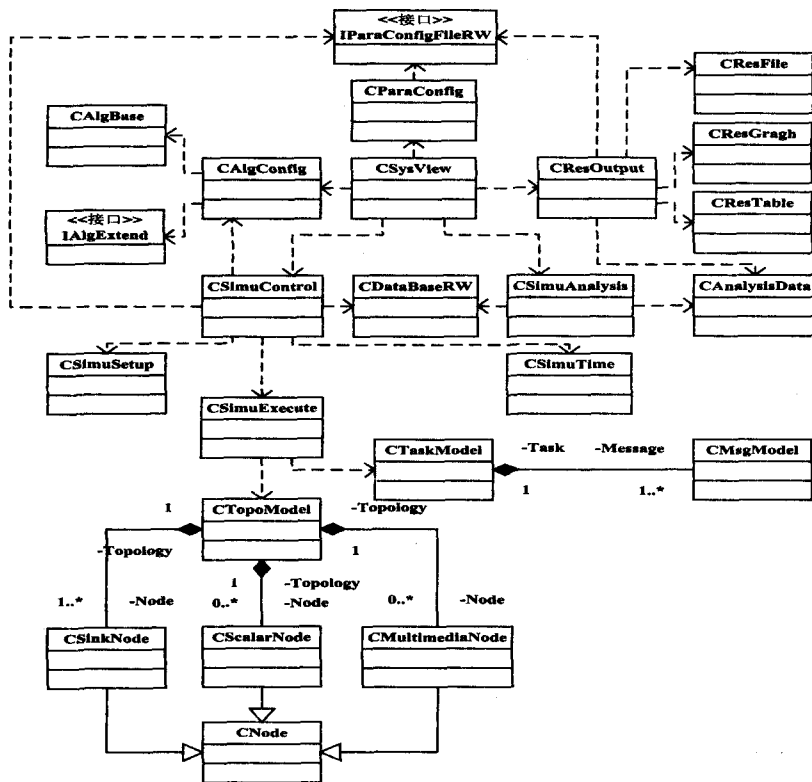


图7 上层仿真机构类图

(Source)产生感知信息同时传送数据包(Msg),中继节点(Node)接收数据并根据当前拓扑(Topo)与算法(Alg)判定下一跳节点同时转发数据,重复数据寻路与转发的过程直至数据包到达汇聚节点(Sink)结束,以此标记仿真网络运行时的单次数据传输行为,可参见图6、图7。

②仿真任务分配。仿真WMSN将经历数据感知、路由发现、数据传输三个主要阶段,由此可能产生多项仿真任务^[14]。该仿真任务集(包括特定任务应用、定

向覆盖、多跳路由、传输控制等)可按其功能需求分解并映射至网络通信栈的各层服务,进而由网络仿真器的中介层分配至节点模型内对应组件并执行完成,可参见图2。

5 结束语

文中提出设计一种针对WMSN多媒体特点、贴近传感器网络底层通信情况、仿真结构与功能可扩展、易于操作使用的仿真器,依据该设计方案将实现一种可应用于WMSN中覆盖算法、路由协议、传输控制策略等多项研究领域的实验仿真工具。

下一阶段将继续细化该设计,将其实现并应用于课题研究,在实际仿真过程中不断改进与完善。

参考文献:

- [1] 刘强,崔莉,陈海明.物联网关键技术与应用[J].计算机科学,2010,37(6):1-4.
- [2] Akyildiz I F, Melodia T, Chowdhury K R. A survey on wireless multimedia sensor networks[J]. Computer Networks, 2007, 51(4): 921-960.
- [3] Kuorilehto M, Hannikainen M, Hamalainen T D. Rapid design and evaluation framework for wireless sensor networks[J]. Ad Hoc Networks, 2008, 6(6): 909-935.

(下转第9页)

mib2c 会在当前目录下生成 modulename. h 和 modulename. c, 这两个文件是根据所设计的 MIB 库模块转换而成的^[12]。

```
export MIBS=ALL
```

选择 MIB 树中的一个表 alarmLogTable:

```
root@yt-desktop: ~# mib2c -c mib2c. iterate. conf
```

```
alarmLogTable
```

```
writing to alarmLogTable. h
```

```
writing to alarmLogTable. c
```

```
running indent on alarmLogTable. c
```

```
running indent on alarmLogTable. h
```

这样就在当前目录下产生一个表的 alarmLogTable. c alarmLogTable. h 文件;

选择 MIB 数中一个简单变量:

```
root@yt-desktop: ~# mib2c -c mib2c. scalar. conf
```

```
alarmLogNumberOfEntries
```

```
writing to alarmLogNumberOfEntries. h
```

```
writing to alarmLogNumberOfEntries. c
```

```
running indent on alarmLogNumberOfEntries. h
```

```
running indent on alarmLogNumberOfEntries. c
```

这样就在当前目录下产生一个简单变量的 alarmLogNumberOfEntries. c 和 alarmLogNumberOfEntries. h 文件。

5 结束语

MIB2C 在 SNMP 中处于一个非常重要的地位,文中介绍了 MIB 库, MIB 工具和怎样编写 MIB 文件。通过实际例子介绍了简单快速地将 MIB 文件转换成实际的 C 文件的方法。但是通过模版转换的 C 文件,只

是个半成品,需要用户针对实际项目对代码进行添加、修改。而且转换后的 C 文件,只是针对 MIB 树上一个叶子节点,实际应用中,为了减少代码冗余,还需要把多个 C 文件合并成一个文件^[13]。

参考文献:

- [1] 武孟军. 精通 SNMP[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [2] 蔡国森. 基于 SNMP 的 MIB 库访问实现[J]. 计算机与信息技术,2005(3):12-15.
- [3] 刘一兰. 基于 SNMP MIB 编译器的实现及其生成器技术的研究[D]. 武汉:华中师范大学,2004.
- [4] 赵小蓉,吕 斌,宋 凯. 基于 SNMP 网络管理协议的 MIB 库分析与存取实现[J]. 电脑开发与应用,2001(7):56-59.
- [5] 郭方方,王克冬,耿 科,等. 应用 ASN.1 对 SNMP 中 SMI 进行描述的方法[J]. 应用科技,2001(8):34-38.
- [6] 蔡 丽,张大方,谢高岗,等. 基于 SNMP 网络管理的设计与实现[J]. 计算机应用,2003(5):30-35.
- [7] 崔晓乾. 基于 SNMP 的网络系统的设计和实现[D]. 成都:电子科技大学,2005.
- [8] 岑贤道,安常青. 网络管理协议及应用开发[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- [9] 罗雅过. 基于 SNMP 的 MIB 库访问实现研究[J]. 西安文理学院学报:自然科学版,2010(10):33-36.
- [10] 蓝 波,杨 琴. 基于 SNMP 动态扩展 MIB 的设计与实现[J]. 计算机工程,2004(4):192-194.
- [11] Xions C. SMP/ SNMP Version 2 : the Evolution of SNMP [M]. [s. l.]:[s. n.],1992.
- [12] Mauro D, Schmidt K. Essential SNMP [M]. [s. l.]:Oilly&Associates,2005.
- [13] RFC1157. A Simple Network Management Protocol[S]. [s. l.]:[s. n.],2005.
- [4] 江 涌,谷建华,杜鹏雷,等. 无线传感器网络测试平台研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(9):188-192.
- [5] 陈积明,林瑞仲,孙优贤. 无线传感器网络仿真平台 WSNsim 的设计[J]. 传感技术学报,2006,19(2):457-462.
- [6] 梁韦华,于海斌,臧传治,等. 基于多智能体的无线传感器网络仿真平台的研究[J]. 系统仿真学报,2006,18(4):913-917.
- [7] Newell A, Akkaya K. Distributed collaborative camera actuation for redundant data elimination in wireless multimedia sensor networks[J]. Ad Hoc Networks,2011,9(4):514-527.
- [8] Yaghmaee M H, Adjero D A. Priority-based rate control for service differentiation and congestion control in wireless multimedia sensor networks [J]. Computer Networks,2009,53(11):1798-1811.
- [9] 鲁 琴,杜列波,左 震. 无线多媒体传感网节点能耗问题评述[J]. 传感器与微系统,2008,27(12):1-3.
- [10] 孙 岩,马华东. 无线多媒体传感器网络 QoS 保障问题[J]. 电子学报,2008,36(7):1412-1420.
- [11] 李晓维,徐勇军,任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007:129-156.
- [12] Chen Feng, Dressler F. IEEE 802. 15. 4 Model for OMNeT++/INET Framework [EB/OL]. 2008-10-30 [2011-01-20]. <http://www7.informatik.uni-erlangen.de/~fengchen/omnet/802154/index.shtml>.
- [13] 金晓磊,闫红漫,翁之浩,等. 基于虚拟数据库的信息系统集成研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(6):87-90.
- [14] Mendes L D P, Rodrigues J J P C. A survey on cross-layer solutions for wireless sensor networks [J]. Journal of Network and Computer Applications,2011,34(2):523-534.

(上接第5页)