



# 《无线传感器网络技术》讲义

宁波中科无线通信事业部  
<http://www.wsn.org.cn>

宁波中科无线通信事业部  
<http://www.wsn.org.cn>

## 第十三章、开发环境

2007年8月20日



中国科学院计算技术研究所

Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

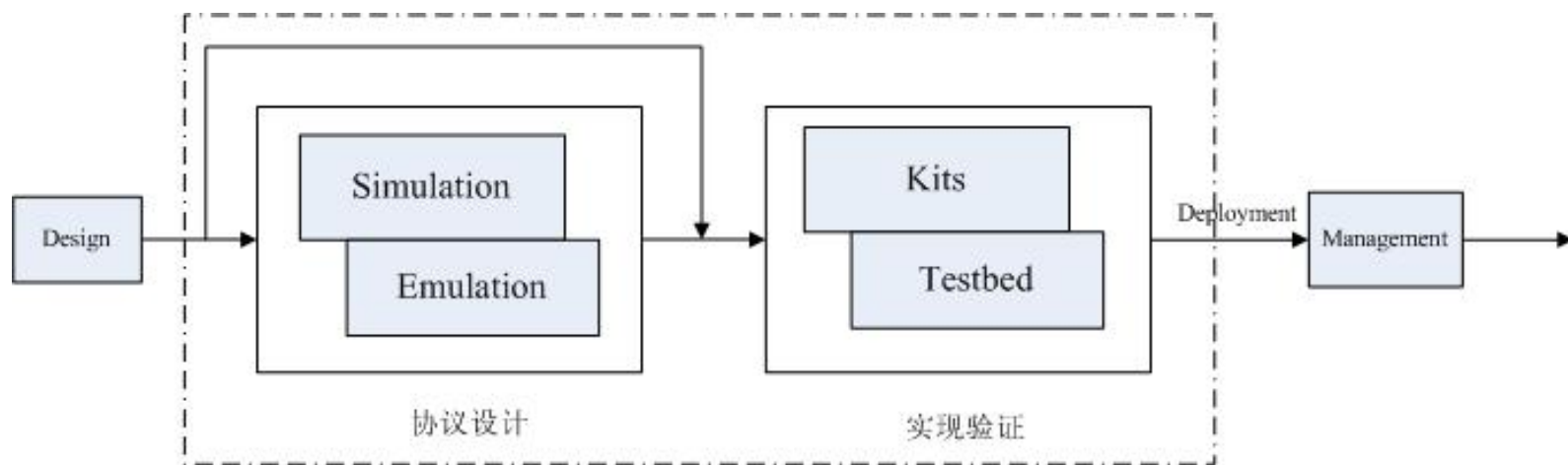


图 13-1 开发过程图

典型的开发过程如图 13-1 示。先是进行协议的处理流程设计，然后在模拟器中模拟，接着利用真实节点进行验证，最后部署到实际的环境中。

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

- 模拟（Simulation）是指选取一个物理的或抽象的系统的某些行为特征，用另一个系统来表示它们的过程；
- 主要优点：相对于形式化的分析方法以及实验的方法，采用模拟的方式更加的经济和高效。这也是模拟方式在传感器网络研究中广泛使用的主要原因。

## 传感器网络对模拟提出的要求

- ◆ 大规模性 → 高效模拟
- ◆ 资源受限 → 对能耗的评估
- ◆ 环境相关 → 对环境的建模(体现在不同的无线信道特征及传感信道特征)
- ◆ 异构网络 → 模拟异构系统

## 1. NS-2

NS(Network Simulator)-2是UC Berkly大学开发的一个面向对象的网络模拟器，本质上是一个离散事件的模拟器。

它采用两级体系结构，为了提高代码的执行效率，NS2 将数据操作与控制部分的实现相分离。

NS2的前端是一个OTcl解释器，称为解释层，主要功能是对模拟环境的配置和建立。网络构件则利用C++进行实现。

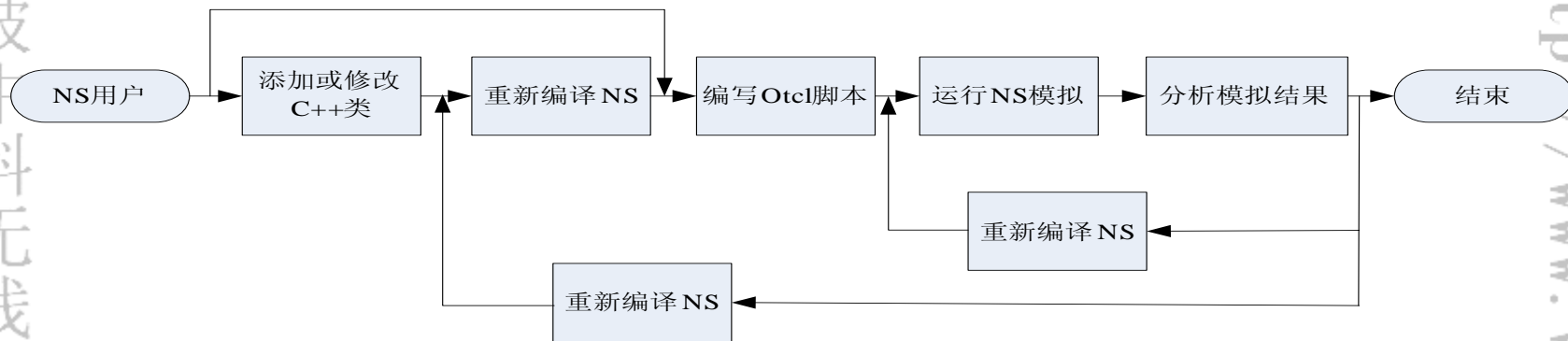


图 13-2 基于NS的模拟流程

## 2. GloMoSim

GloMoSim(Global Mobile Information Systems Simulator), 是由UCLA所开发的一套主要用于模拟无线网络的模拟器。基于已经过验证的PARSEC 并行仿真内核, 提供了一种灵活方便的仿真环境。最大的特点是提供对并行的支持。

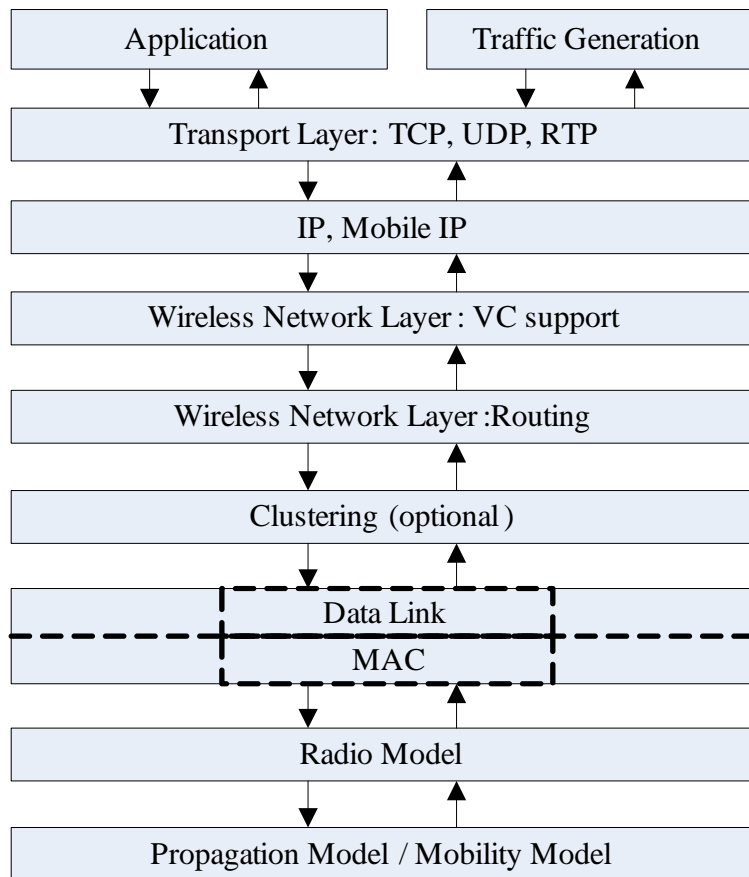


图 13-3 GloMoSim结构图

- 对应于OSI模型，GloMoSim的协议栈同样也是分层设计的(如图 13-3所示)，在层与层之间提供了标准的API接口函数，这样就可可在不同的层或开发人员之间建立快速的综合集成。

Layers	Protocols
Mobility	Random waypoint, Random drunken, Trace based
Radio Propagation	Two ray and Free space
Radio Model	Noise Accumulating
Packet Reception Models	SNR bounded, BER based with BPSK/QPSK modulation
Data Link (MAC)	CSMA, IEEE 802.11 and MACA
Network (Routing)	IP with AODV, Bellman-Ford, DSR, Fisheye, LAR scheme 1, ODMRP, WRP
Transport	TCP and UDP
Application	CBR, FTP, HTTP and Telnet

表格 1 GloMoSim所支持的协议

### 3. OPNET

OPNET公司起源于美国麻省理工学院，成立于1986年。1987年OPNET公司发布了它的第一个商业化的网络性能仿真软件，提供了具有重要意义的网络性能优化工具，使得具有预测性的网络性能管理和仿真成为可能。至今OPNET已经发行到了10.0以上版本。它的产品线主要有Modeler，IT Guru、SP Guru、OPNET Development Kit和WDM Guru等。它的优点是图形化界面做得很好。

## OPNET进行网络模拟的6个步骤

- **配置网络拓扑结构(Topology):** 通过OPNET提供的向导和各相关编辑器完成建立场景、选择设备和建立网络拓扑结构的工作。
- **配置业务量(Traffic):** 通过选择在该网络上运行的应用程序并配置运行参数。可以为所仿真网络配置业务量。这样就完成了对系统流量的建模工作。
- **收集统计量(Statistics):** 统计量是用于对所仿真网络进行性能测量和评价的依据。通过选择OPNET提供的各种统计指标完成配置和收集统计量的工作。
- **运行仿真(Simulation):** 通过前三步的工作, 一个仿真场景已经完全建立。需要通过运行仿真来得到仿真运行的数据。
- **调试模块再仿真(Re-Simulation):** 通过分析仿真数据。可以找出所仿真网络的性能瓶颈。此时可以复制先前网络场景, 通过修改拓扑、更新设备、调整业务量而得到新的仿真场景, 再次运行仿真可得到优化后网络的运行数据。如果是对协议细节进行仿真, 则可修改协议模块的相关细节字段, 通过再次仿真可得到修正后协议的运行数据。
- **发布结果和拓扑报告(Report):** 通过对一个项目的不同场景(对应着不同的方案)的仿真结果进行分析, 可以产生研究报告, 并且可以把相关图表从OPNET中导出到文件中, 以便于在报告中引用。

#### 4. TOSSIM

TOSSIM是美国UC Berkly大学开发的，基于TinyOS的无线传感器网络模拟器。设计者在开发TOSSIM时主要进行了四方面的考虑：

- ◆ **规模性：**模拟器必须能够模拟拥有数千个传感器节点的各种不同架构的网络。在2003年的时候已经部署的基于TinyOS的无线传感器网络的规模已经达到了850个节点，设计出的模拟器必须能够应对目前这样大规模的网络，以及将来的更大规模的网络。
- ◆ **完整性：**无线传感器网络是基于事件驱动的，也可以说是应用相关的，所以模拟器必须覆盖各个层的需要，反映层次之间的交互。
- ◆ **精确性：**模拟器应该在一个合适的粒度上去捕获网络内部的活动，获取节点内或节点间的精确的时序关系对于评估和测试网络非常重要。同时模拟器应该尽可能准确的反映出那么网络内的各种活动，包括异常的活动。
- ◆ **桥梁作用：**模拟器应该在网络协议与实际应用之间充当一个桥梁作用，方便使用者开发和验证运行于真实硬件上的程序。因为，有些理论上好的算法实现的时候并不尽如人意。

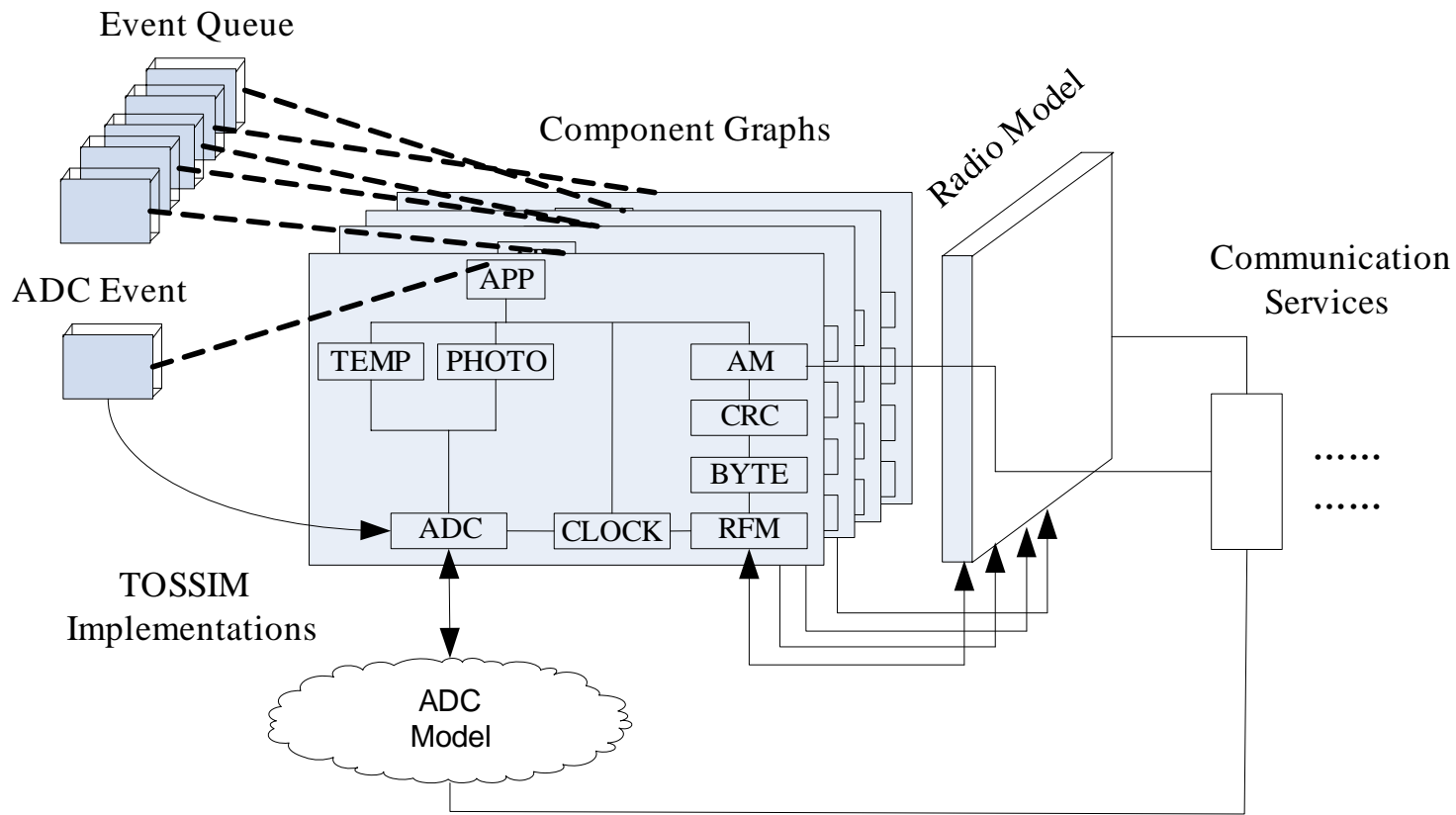


图 13-4 TOSSIM系统结构图

## 5. SensorSim

SensorSim是一个基于NS-2的模拟器，它对NS-2主要进行了三方面的扩展。首先它扩展了能耗模型，对需要能量的模块进行建模，研究影响能量消耗的因素，模拟能量消耗情况。其次是建立了传感信道，因为目标信号源传播到传感器节点需要通过如空气、水、大地等媒介，这些媒体的物理特性会很大程度上影响传感器节点的感知精度。最后是加入了与外界交互的功能，主要是与外界真实部署的无线传感器网络进行交互，这样外界网络的事件可以触发模拟器中的事件。

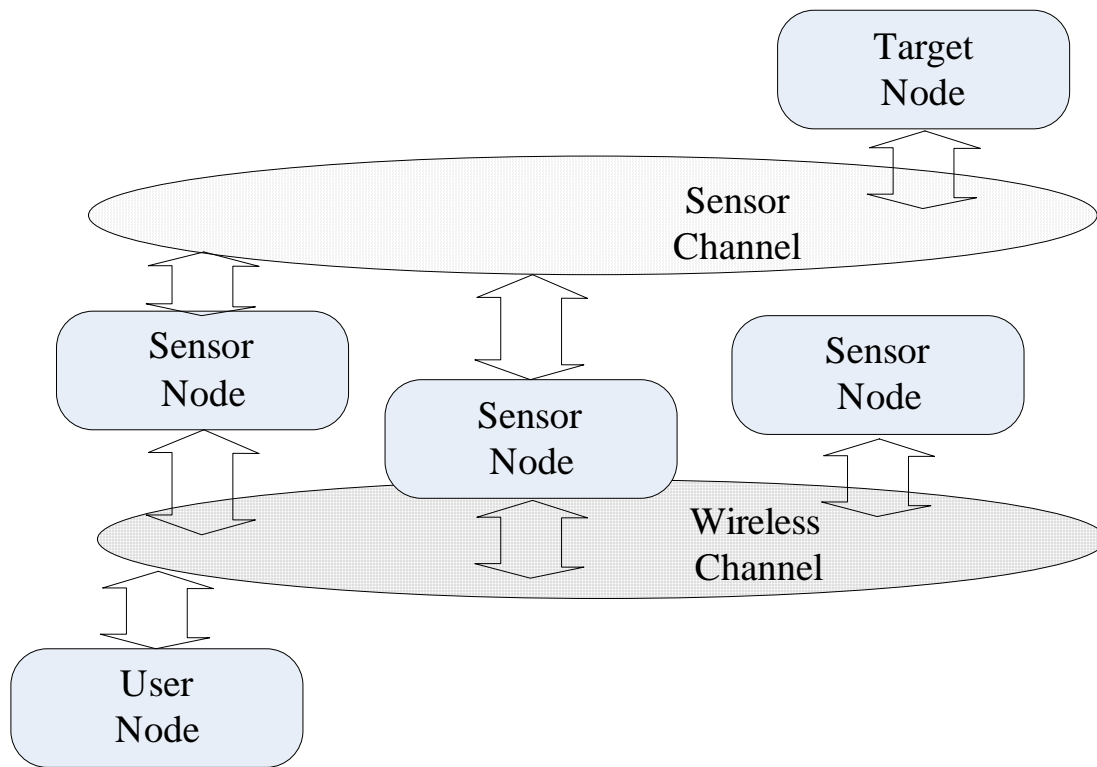


图 13-5 传感器网络结构图

## 6. OMNeT++

OMNeT++(Object Modular Network Test-bed in C++)是1992年开发的一个开源的、基于组件的模块化离散事件模拟器，主要用于通信网络及分布式系统方面的模拟，可以运行在Unix和windows环境下。

仿真模型采用了混合式的建模方式，同时使用了OMNet++特有的NED (Network Discription) 语言和C++进行建模。

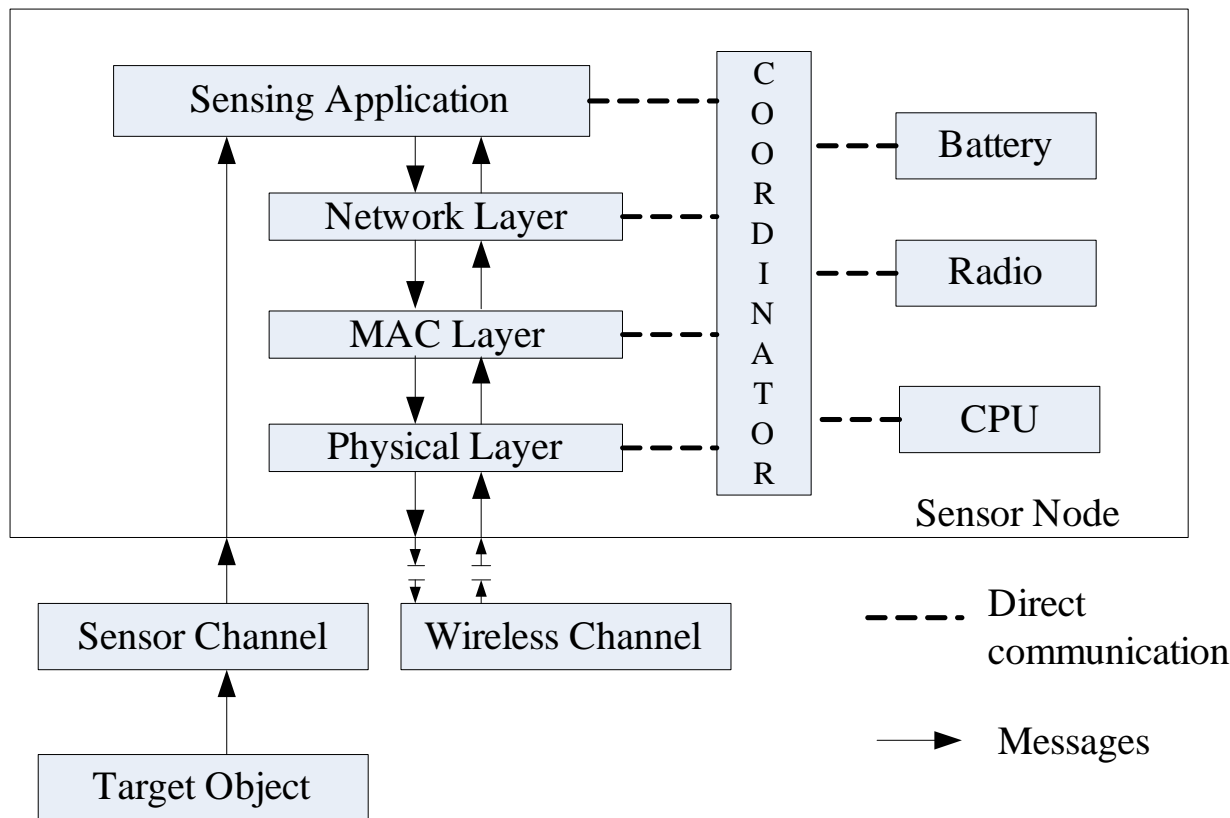


图 13-7 基于OMNeT++的传感器节点模型

- **SENSE**

SENSE是美国伦斯勒理工学院(Rensselaer Polytechnic Institute)针对无线传感器网络模拟，在COST的基础上而开发的，设计目标是为了解决可扩展、可重用性以及可伸缩性，同时也考虑了各种不同使用者的需求。

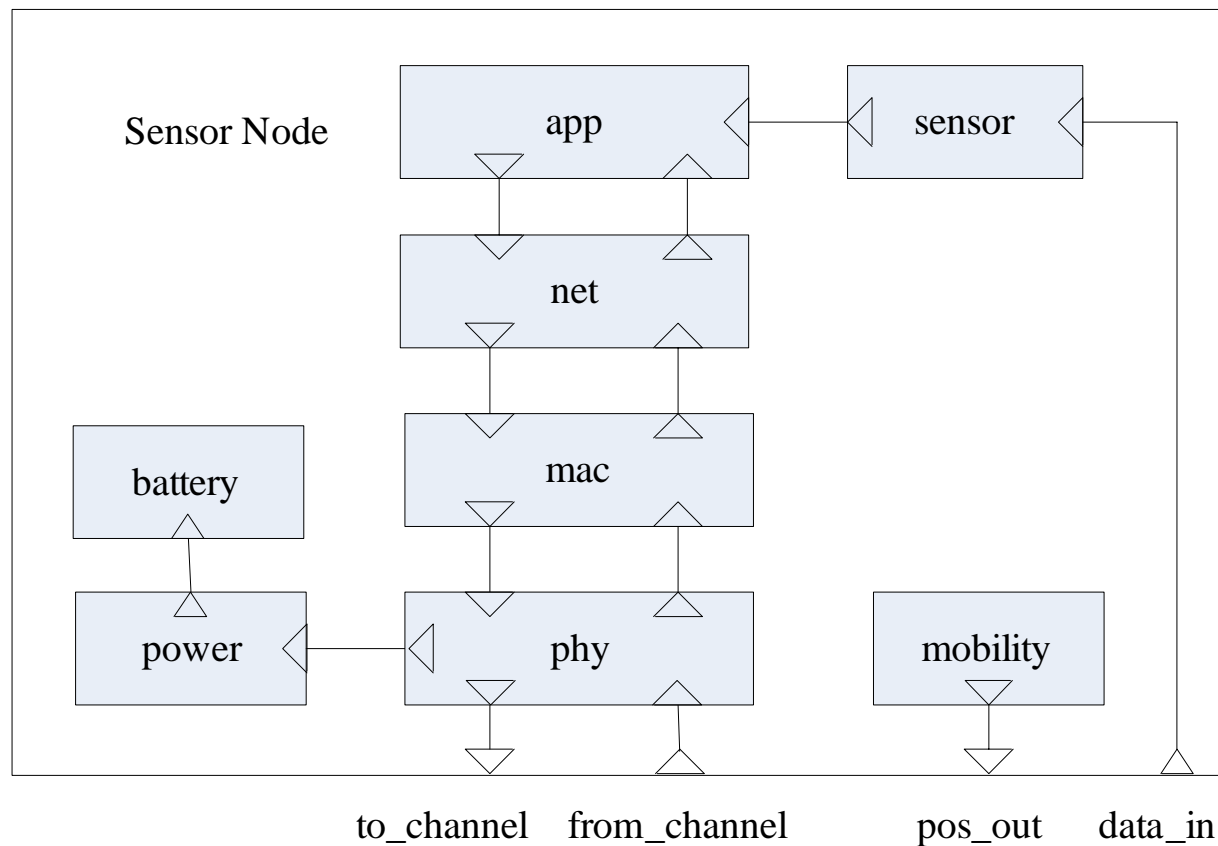


图 13-8 典型传感器节点的内部结构

- 设计模拟器需要考虑的方面

① 在设计模拟器时候要进行下面几方面的考虑:

② 整体性: 无线传感器网络整体性更强, 不能隔离某层来研究其它层次的性能。特别是应用层, 无线传感器网络高度的应用相关性使得不同的应用对网络性能具有非常大的影响, 不能隔离应用层去研究网络的行为和特征。

③ 异构性: 不同层次的需求, 用不一样的节点, 这样可以最大程度地提高系统的性能。这也是将来无线传感器网络发展的一个趋势, 所以模拟器应该具备模拟异构网络的功能。

④ 能耗模型: 无线传感器网络是能量敏感型网络, 模拟器必须能够模拟能量的消耗情况, 用于网络协议能耗有效性的评估。能耗模型主要包括两方面, 一是能量供应源的建模, 主要是对电池的放电过程进行建模; 二是对能量消耗源的建模, 主要是对通信模块、处理器模块、传感模块的能耗建模。

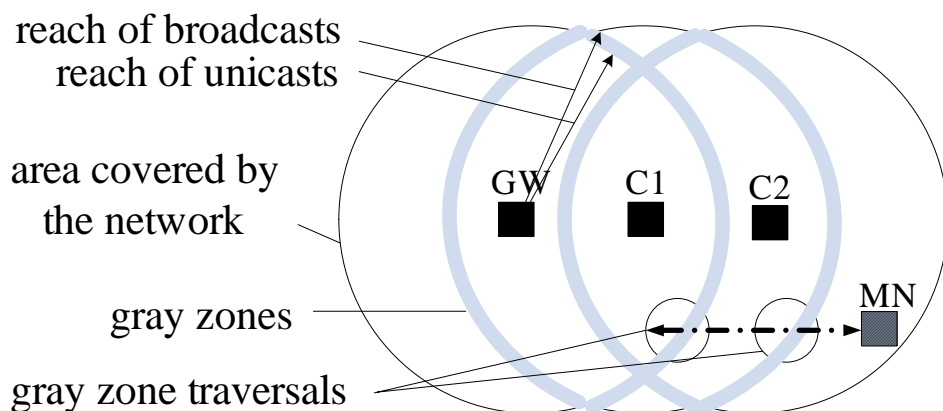
⑤ 真实代码(real code): 真实代码是指能够在真实硬件上运行的代码。如上面提及的TOSSIM等采用NESC作为模拟器语言, 所设计的程序可以直接移植到MICA系列的节点上。这种设计的优点是可以加快从实验室走向应用的进程, 方便使用者进行移植。缺点是基于确定的硬件之后, 缺乏灵活性了。

⑥ 可扩展性: 无线传感器是应用相关的, 并且受环境影响很大, 因此在不同的应用环境下面往往要开发不同的网络协议, 这就使得模拟器的可扩展性成为协议开发者首要的考虑因素。相比而言基于组件的模型具有更好的可扩展性。

⑦ 高效性: 高效性可以用两个指标来衡量, 一是运行速度, 二是内存使用量。速度越快, 内存使用越少, 则模拟器所能模拟的网络规模就越大。为解决速度问题, 目前已经有了不少的并行模拟器, 但正如文献[7]所述, 并行需要使用者花更多的时间和精力, 并且较难很好的实现串行向并行的自动转换, 但是提高速度方面, 并行化绝对是重要的趋势之一。另外一个设计方面的考虑是模拟器到底应该基于事件驱动还是基于时间驱动, 相比而言, 离散事件驱动的模拟器执行效率更高, 速度更快。

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

# • 模拟的不足

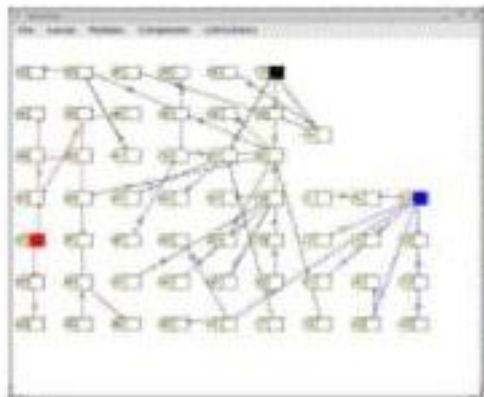


灰色地带问题

很多无线信道的特征都不能在模拟方式中体现

- EmStar介绍

Emstar是仿真器的典型例子。它是由(美国)加利福尼亚大学洛杉矶分校CENS实验室开发的，基于Linux操作系统的，用于仿真分布式系统的平台。最大的特点是可以**用真实的物理通信信道来代替模拟出的通信信道**。它支持异构网络的仿真和模拟，网关节点采用的是克尔斯博的Stargate，也称为微服务器节点(microserver)。微服务器节点采用的是X-Scale处理器，可以运行Linux操作系统，可作为网关节点，同时也可以外接普通节点(MICA2)，一方面可以在普通节点的基础上再进行更多的计算处理，另一方面也可以使微服务器节点利用Mica2的通信信道。



硬件平台  
55个  
MICA节点

提高真实度的途径:

- 1.数据注入（将地震局监测到的数据注入到模拟器中）
- 2.真实信道代替模拟信道，数据处理在模拟器中进行，而数据通信在真实无线信道中进行

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

- 开发套件

虽然无线传感器网络还没有进入实用化阶段，但目前已经不少的科研团体和企业机构都实现了一些无线传感器网络的雏形，并研发了一些开发套件，包括传感器节点和后台可视化管理软件。下面将分别从传感器节点和可视化平台两方面进行一些简要介绍。

# 传感器节点架构

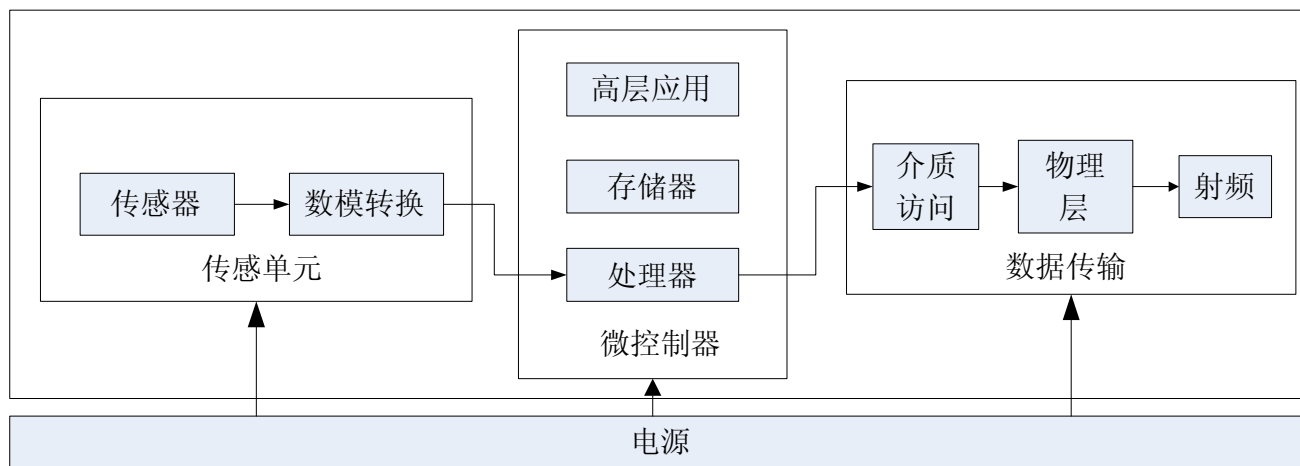







图 13-12 传感器节点架构

# 两款国内主要的节点系列

节点类型	MICA2	MICA2DOT	MICAZ	Gains3	Gainsz
节点实物					
微处理器芯片	ATmega128l	ATmega128l	ATmega128l	Atmega128l	Atmega128l
MCU时钟/MHz	7.3728	4	8	7.3878	8
程序空间/KB	128	128	128	128	128
内存/KB	4	4	4	4	4
板上非易失存储器容量/KB	512	512	512	512	512
射频芯片	CC1000	CC1000	CC2420	CC1000	CC2420
频段/Hz	315-916M	315-916M	2.4G	433M	2.4G
带宽/kbytes	38.4	38.4	250	19.2	38.4
户外通信距离/m	150	150	75-100	200	50-100
集成的传感器	外接	集成温度传感器	外接	外接	外接

表格 2 Mica与Gains性能指标

- 节点设计

传感器节点的设计要求正好体现出了整个无线传感器网络的特点，节点设计主要有以下三个目标：

- ① 小型化：小型化始终是硬件发展技术的一个方向。无线传感器未来的目标是做到智能尘埃，能悬浮在空气中，去感知一些参数。借助SOC技术，无线传感网络节点的体积得以大大减小，MEMS技术的发展又使得传感器节点向微型化发展。美国DARPA/MTO MEMS支持的研究项目Smart dust项目的目标是做出体积不超过1mm<sup>3</sup>的节点。
- ② 低成本：无线传感器网络通过在一定区域内布置大规模的节点，来监测温湿度等等各种各样的环境参数。这种超大规模的特性使得，只有做到低成本，才能发挥出无线传感器网络的优点，也才能真正走向实用化。
- ③ 低功耗：目前，人们普遍认为：无线传感器网络节点在未来将是一次性的（就如同现在的一次性餐具一样），而且由于体积的限制，不可能携带大的供能模块，所以必须通过低功耗的设计，使得整个网络的生命周期得以延长。

- **可视化平台(Visualized platform)**

可视化技术也是无线传感器网络不可或缺的一项支撑技术。如何解释网络中产生的大量数据以及如何管理网络也是无线传感器网络走向应用所必须解决的一个难题。一个解决的途径就是开发出一个可视化管理平台。利用定制的可视化平台，去观测网络内部的活动，辅助使用者监测网络行为，发现网络中存在错误。

接下来介绍下可视化平台所应具备的一些功能，为大家设计提供一些借鉴。

## (1)显示网络拓扑

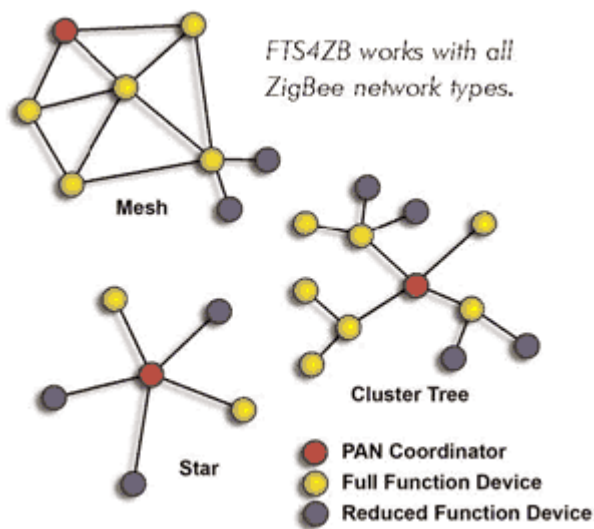


图 13-13 Zigbee网络拓扑图

可视化的首要问题是网络拓扑发现，如果要管理一个网络，那么首先必须要弄清楚这些传感器节点在什么地方，知道所部署节点的方位才能更好的监测网络与定位错误。图 13-13显示的是国外Frontline Test Equipment公司的一款Zigbee分析软件截图。显示的是Zigbee网络的拓扑结构图。拓扑结构对于研究数据的流向，诊断错误，评估网络性能都有着很大的作用。但是由于无线网络的特性使网络拓扑的获取往往不那么容易。首先是环境的影响和节点能量的受限，使得网络拓扑始终是动态变化。另外一方面节点的定位问题也悬而未决，使得显示的拓扑很难与实际网络节点建立对应关系。

## (2) 显示通信路径

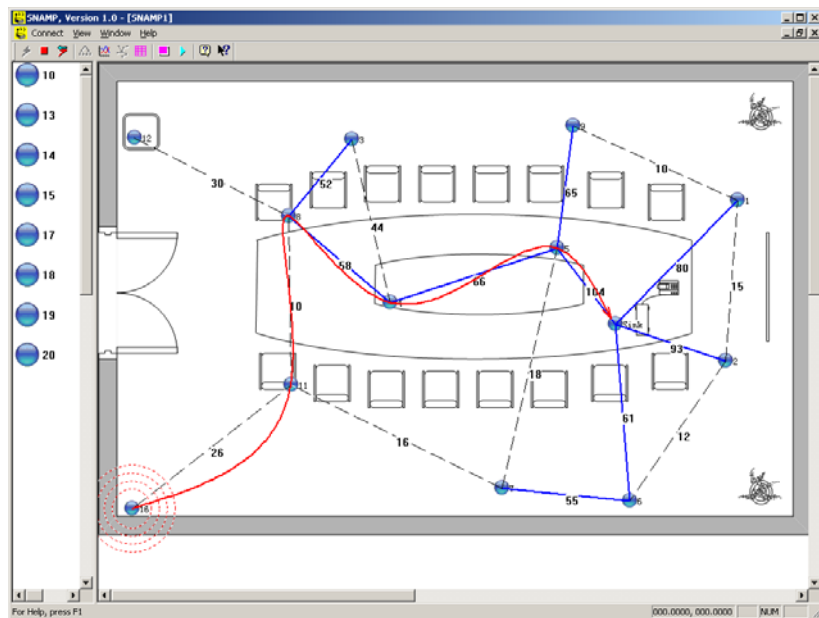


图 13-14 数据包发送图

在显示拓扑的基础上，可以通过显示数据包的发送过程来可视化网络内部的活动。

### (3) 查看单个节点状态

虽然无线传感器网络强调的是面上的监测，并且通过节点的冗余达到高可靠性，但是在研发的过程中，有时候也需要了解单个节点的一些信息，方便调试。或者在管理网络时，设置单个节点的一些诸如采样率之类的工作参数，以使网络更好的工作。查看单个节点状态可以直接由收集到的数据包进行统计分析即可，设置节点工作参数则需要网络本身的支持。

#### (4) 实时传感数据观测

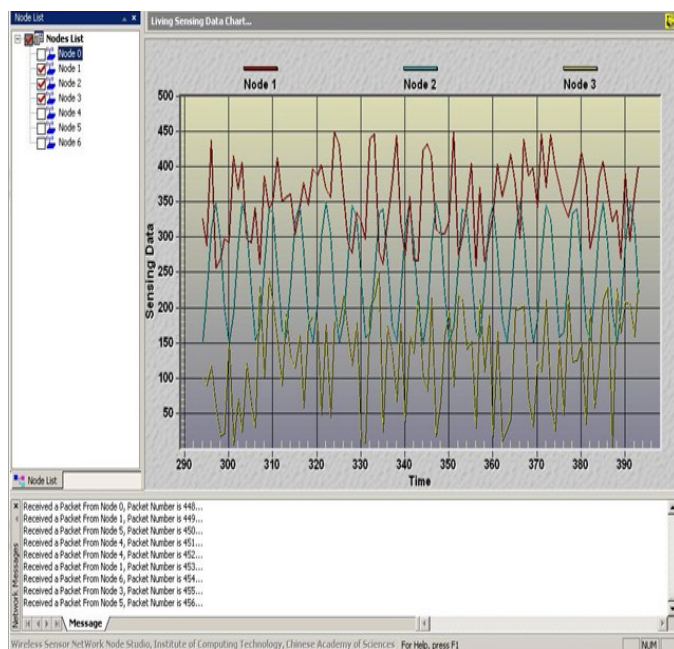


图 13-15 实时传感数据曲线

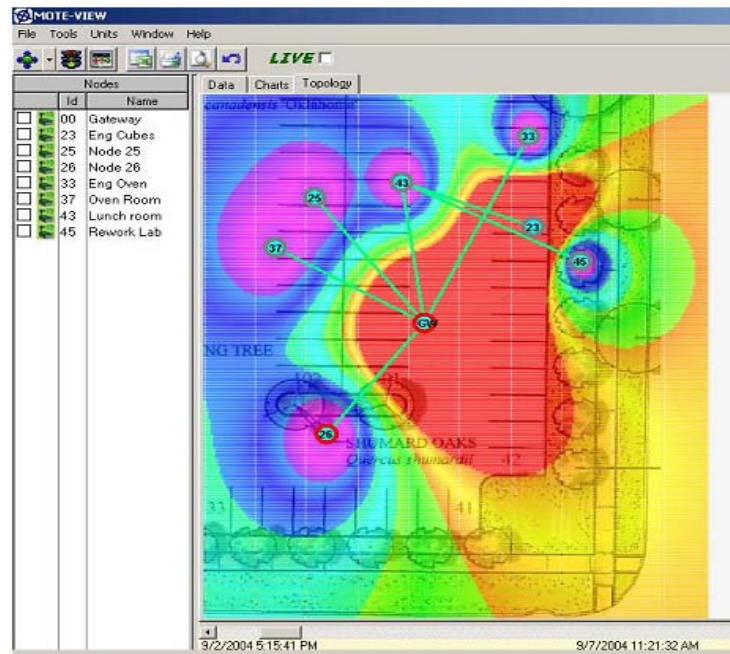


图 13-16 温度场

## (5) 历史数据查询

确定网络以前的活动情况与监测网络当前的活动同等重要。通过历史数据不仅可以统计分析网络以前的性能，也可以用于诊断问题所在，为提高网络性能提供参考。

## (6) 远程可视化

远程可视化可以方便各地的用户同时了解同一个网络的状况，真正的让人们可以足不出户的了解外面环境的变化。开放地理空间联盟（Open Geospatial Consortium）为了让无线传感器网络与Internet网络更好的结合，制定了四项关于与传感器网络交互的接口以及传感器数据的编码方式的规范，以便于人们可以通过Internet观察和控制无线传感器网络。

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

## 实验验证的步骤一般如下：

1. 对协议进行修改后，将新的程序烧制到各个传感器节点
2. 将传感器节点部署到一定的环境中
3. 运行实验，收集并存储数据
4. 实验完成后，将传感器节点收回
5. 分析实验数据，进一步修正协议
6. 重新回到步骤1

步骤1、步骤2、步骤4总是令人心烦的，每次做一点小小的改动，可能就要重编程几十个节点，然后再重新部署，实验完了再重新回收，这样的操作往往是耗时费力。步骤3也是一个难点。到底应该收集哪些调试信息，如何收集这些调试信息，以及如何控制收集信息粒度，这些都是待解决的问题。接着分析数据的任务也是非常乏味的，需要有工具的辅助。通过搭建测试床可以一定程度上解决这些问题，提高实验的效率。

# 测试床的两种工作模式

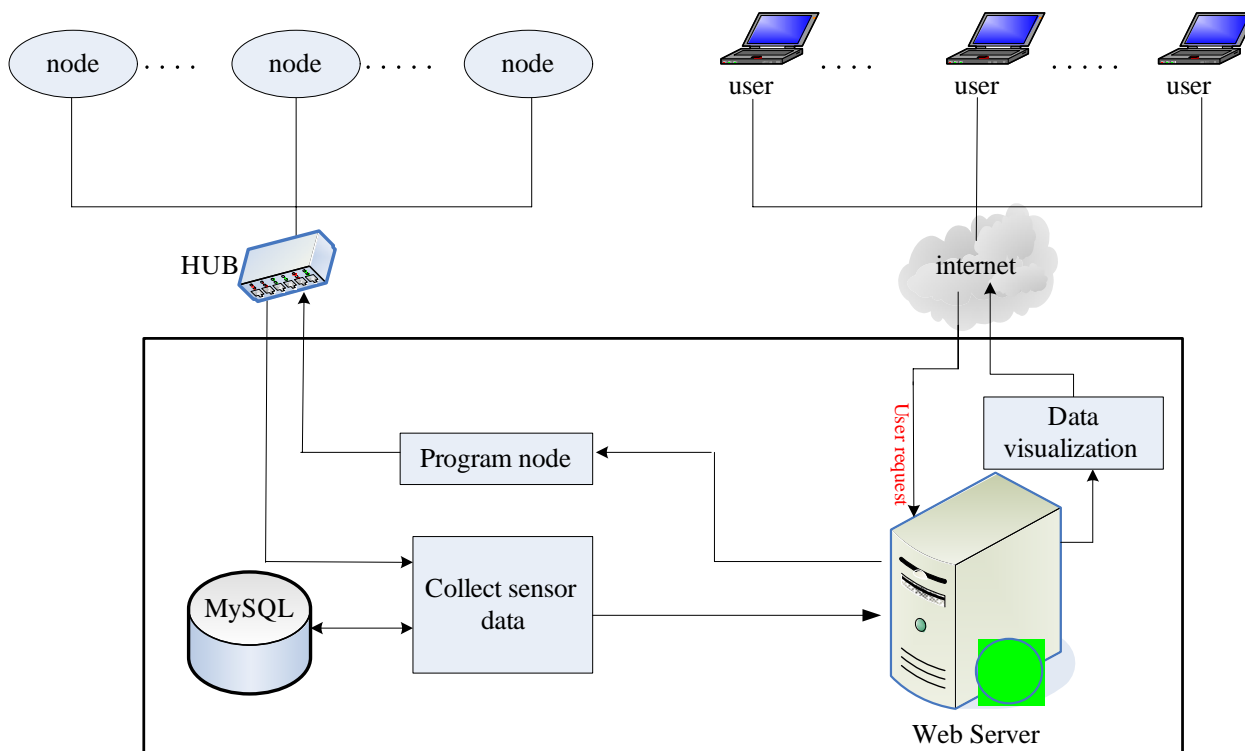


图 13-17 全连接模式Testbed结构图

- 测试床的两种工作模式

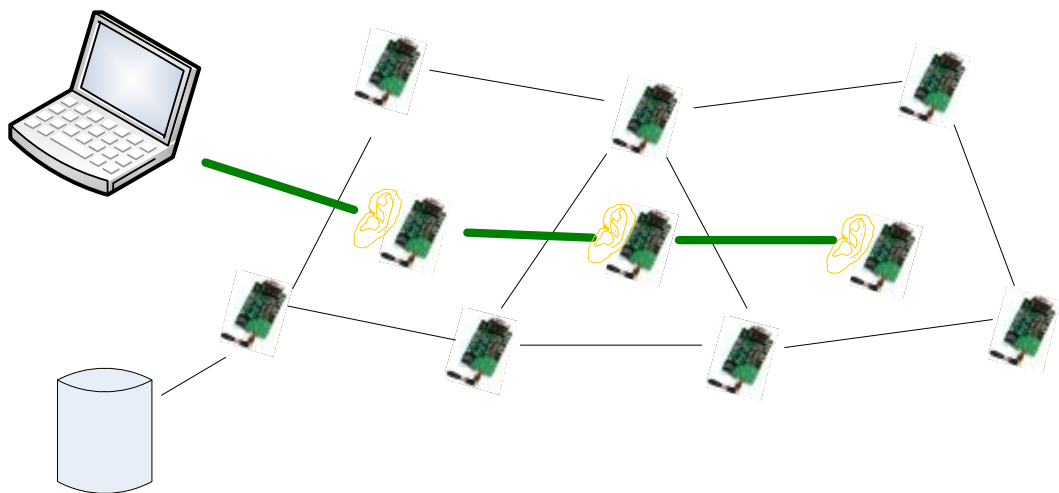


图 13-18 Sniffer模式Testbed结构图

## 利用测试床进行诊断和性能评估

指标名	指标描述
邻居表	邻居列表。每个邻居节点由节点ID标识。
链路质量	到所有邻居节点的链路质量。由从0(100%失败)到100(100%成功)之间的传输成功率来表示。
传输字节计数	统计该节点发送的字节数与接收到的字节数。
下一跳	本节点所选的用于发送数据包的下一跳节点ID号
路径丢失	路径丢失与链路质量刚好相反：较低数值意味着较低的丢包率，就能提供高质量的数据传输

表格 3 需要收集的指标

## 利用测试床进行诊断和性能评估

事件名称	描述	所需信息
丢失的节点	没有任何节点的邻居表包含该节点	所有节点的邻居表
孤立的节点	该节点邻居被为空	该节点的邻居表
路由改变	该节点的下一跳节点改变，记录与之前的和当前下一跳节点间链路的丢包率	该节点的邻居表
邻居表改变	节点n2被节点n1加入或者移除邻居表，记录n1,n2间不同时期的链路质量	n1的邻居表
链路质量改变	节点n2到n1间链路质量下降，并且超过一个阈值	n1,n2的邻居表

表格 4 通过收集指标侦察到的事件

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

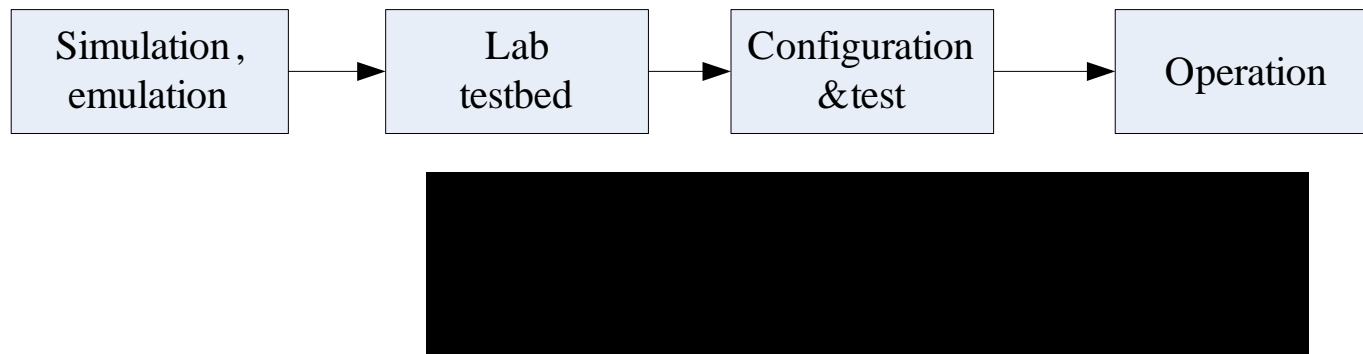


图 13-19 WSN应用开发生命周期

一个典型的无线传感器应用的开发过程应该是先在实验室中进行模拟与仿真，初步验证算法与协议的正确性。然后将设计好的算法或协议移植到具体的真实节点上，利用 **Testbed** 进行调试，之后再到真实的环境中进行验证，最后就是实际部署。整个开发过程是不断反复的，发现问题后可能会回溯到前面的某步重新设计与验证。

1. 概述
2. 协议设计阶段—模拟器
3. 协议设计阶段—仿真器
4. 实现验证阶段—开发套件
5. 实现验证阶段—测试床
6. 本章小结
7. 主要参考文献

- [1] The Network Simulator – ns-2[OL].<http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [2] X. Zeng, R. Bagrodia, M. Gerla. GloMoSim: A Library for Parallel Simulation of Large-Scale Wireless Networks, 12th Workshop on Parallel and Distributed Simulation (PADS'98), 1998, 154-161.
- [3] OPNET[EB/OL].<http://www.opnet.com/products/modeler,2006>
- [4] Philip Levis, Nelson Lee, Matt Welsh, and David Culler. TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications. Proceedings of SenSys'03, First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2003.
- [5] Sung Park, Andreas Savvides, and Mani B.Srivastava. SensorSim: A Simulation Framework for Sensor Networks. ACM MSWiM, August, 2000.
- [6] C. Mallanda, A. Suri, V. Kunchakarra, S.S.Iyengar, R. Kannan, and A. Duresi. Simulating Wireless Sensor Networks with OMNeT++.
- [7] Gilbert Chen, Joel Branch, Michael Pflug, Lijuan Zhu, and Boleslaw Szymanski. SENSE: A Sensor Network Simulator. Advances in Pervasive Computing and Networking, 2004.
- [8] Henrik Lundgren, Erik Nordstrom, Christian Tschudin. The Gray Zone Problem in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks.
- [9] L. Girod, J. Elson, A. Cerpa, T.Stathopoulos, N. Ramanathan, D. Estrin. EmStar: An Environment for Developing Wireless Embedded Systems Software, in CENS Technical Report 0034, December 16, 2003.
- [10] L. Girod, T. Stathopoulos, N. Ramanathan, J. Elson, D. Estrin, E. Osterweil, and T. Schoellhammer. A system for simulation, emulation, and deployment of heterogeneous sensor networks. In Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Baltimore, MD, 2004.

- [11] L. Girod, J. Elson, A. Cerpa, T. Stathopoulos, N. Ramanathan, and D. Estrin. Emstar: a software environment for developing and deploying wireless sensor networks. In Proc. of the 2004 USENIX Tech. Conf., Boston, MA, 2004. USENIX Association.
- [12] J. Elson, L. Girod, and D. Estrin. Fine-grained network time synchronization using reference broadcasts. In OSDI, pages 147–163, Boston, MA, December 2002.
- [13] P. Dutta, J. Hui, J. Jeong, S. Kim, C. Sharp, J. Taneja, G. Tolle, K. Whitehouse, and D. Culler. Trio: Enabling sustainable and scalable outdoor wireless sensor network deployments, in Proc. of the Fifth International Conference on Information Processing in Sensor Networks: Special track on Platform Tools and Design Methods for Network Embedded Sensors (IPSN/SPOTS), 2006.
- [14] MOTE-VIEW Monitoring Software [OL].  
<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=88>.
- [15] OGC Membership Approves Four Sensor Related OGC Specifications [OL].  
<http://www.opengeospatial.org/node/612>.
- [16] J. Rayson. Aggregate Towers: Scale Sensitive Visualization and Decluttering of Geospacial Data. IEEE, 1999
- [17] J. Wijk, E. Selow. Cluster and Calendar based Visualization of Time Series Data. IEEE, 1999
- [18] G. Werner-Allen, P. Swieskowski, and M. Welsh. MoteLab: A Wireless Sensor Network Testbed. Proceedings of the 4th international symposium on Information processing in sensor networks, Los Angeles, California, April 2005.
- [19] Nithya RAMANATHAN, Eddie KOHLER, Lewis GIROD, Deborah. Sympathy: A debugging system for sensor networks. ESTRIN Conference on Local Computer Networks, 554-555, IEEE Computer Society.
- [20] N. Ramanathan, E. Kohler, and D. Estrin. Towards a debugging system for sensor networks. International Journal for Network Management, Jul 2005, Volume 15, Issue 4, Pages 223 - 234.



宁波中科无线通信事业部  
<http://www.wsn.org.cn>

谢谢!

宁波中科无线通信事业部  
<http://www.wsn.org.cn>