

基于 NS-3 的无线传感器网络物理层设计及仿真*

李艳蕊 施海彬

(厦门大学信息科学与技术学院通信工程系 厦门 361005)

摘要: NS-3 是一种新的网络仿真工具,它将会慢慢取代目前广泛使用的 NS-2。本文着重介绍了基于 NS-3 的无线传感器网络的物理层仿真模块的设计,搭建了无线传感器网络仿真平台,使一个简单的例子得以在上面运行,并给出了仿真结果。该仿真平台可以用于对无线传感器网络的深入研究与探讨,有助于无线传感器网络的优化设计、缩短系统的开发周期。

关键词: NS-3;无线传感器网络;物理层;网络仿真

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

Physical layer designing and simulation for wireless sensor network based on NS-3

Li Yanrui Shi Haibin

(Department of Communications Engineering, School of Information Science & Technology, Xiamen University, Fujian 361005)

Abstract: NS-3 is a new network simulation tool. It will gradually replace NS-2 which is popularly used now. This article focuses on the designing of the physical layer of wireless sensor network. A wireless sensor network simulation platform was set up and made a simple example run on it and also the simulation result was presented. The simulation platform can be used for further research of wireless sensor networks. And it is helpful for wireless sensor networks to optimize the design and shorten the development cycle.

Keywords: NS-3; wireless sensor network; physical layer; network simulation

0 引言

无线传感器网络(WSN)是由传感器节点组成的分布式自组织网络,对它的协议算法的性能评价仅通过试验是无法实现的,特别是对于包含大量节点的大规模无线传感器网络就更难通过试验来实现。所以仿真平台的设计和开发是很有必要的。针对 WSN 网络的特点本文设计了基于 NS-3 的 WSN 仿真平台。

NS-3 是一种面向对象的网络模拟器,它本质是一个离散事件模拟器,其本身有一个虚拟时钟,所有的模拟都有离散事件驱动。NS-3 不是 NS-2 的扩展,不支持 NS-2 的 APIs。它使用 C++ 模块化元件并直接用 C++ 描述拓扑。由于目前尚未存在无线传感器网络的统一标准,所以需要一种可以仿真自己设计的 WSN 协议的软件,NS-3 较 NS-2 灵活、简单易学而且代码也是开源的,因此选用 NS-3 来搭建 WSN 的仿真平台。NS-2 网络仿真软件的介绍见文献[1],各种网络仿真软件的比较见文献[2]。

1 无线传感器网络仿真平台的设计

无线传感器网络仿真平台的设计需要考虑以下几个方面要素:

1) 节点 node:在 NS-3 中计算机设备的抽象称为节点,用 Node 类来表示。可以将节点看成计算机,可将应用,协议栈,外设等功能添加到上面。

2) 应用 Application:应用的抽象用类 Application 表示。Application 类提供运行用户应用层仿真的方法,开发者根据需要编写具体的应用。此无线传感器网络仿真平台中编写了应用的特例化类 WsnApp。

3) 信道 Channel:将节点和其他对象相连的为信道,它的抽象用类 Channel 表示。Channel 类提供管理通信子网对象和与节点相连的方法。Channel 也可以根据开发者的需要特例化,它可以特例化为简单的天线或大型以太网交换机或者用以无线网络的充满障碍物的传输空间。此无线传感器网络仿真平台中编写了信道的特例化类 WsnChannel。

4) 网络设备 Net Device:在 NS-3 中网络设备被安装在

*基金项目:福建省重点科技计划(No. 2008 H0037)

节点内从而使节点可以通过信道和其他节点通信。网络设备抽象用类 NetDevice 表示。NetDevice 类提供连接节点和信道的方法。它也可以被开发者特例化。此无线传感器网络仿真平台中编写了网络设备的特例化类 WsnNetDevice。

5) 拓扑帮助 Topology Helpers: 由于在 NS-3 中经常要做将网络设备和节点相连、将网络设备和信道相连、分配地址等工作, 拓扑帮助可以使这些工作变得简单, 它将这些分开的操作整合成一个使用起来简单的模型。

基于以上介绍, 无线传感器网络仿真平台的搭建包括以下模块: 物理层 WsnPhy; 信道层: WsnChannel; 媒体访问控制层: WsnMac; 网络设备层: WsnNetDevice; 应用层: WsnApp。

2 物理层模型

无线传感器网络的物理层向上层提供的服务主要有信道能量检测, 信道空闲评估及数据的发送和接收等^[3], 无线传感器网络中使用低能耗 RF 收发芯片 CC1100 来实现这些功能, 因此, 物理层仿真平台的设计是基于 CC1100 射频芯片的^[4]。信道能量检测通过函数 WsnPhy CalculateCcaPower 实现, 返回此时的能量值; 信道空闲评估通过函数 WsnPhy IsCcaBusy 实现, 信道忙则返回 true, 闲则返回 false; 数据的发送和接收是通过接口函数 WsnPhy RequestToSend 及 WsnPhy StartReceivePacket 实现。下面再分别介绍无线传感器网络物理层状态及其状态转换的触发事件, 以及物理层判断包是否成功接收的算法。

2.1 物理层状态

根据无线传感器网络的特点, 物理层可以处在以下五个状态之一^[5]:

- 1) TX: 物理层正在发送数据。
- 2) RX: 物理层正在接受数据。
- 3) CCA: 物理层正在进行 CCA 检测。如果检测的能量值大于门限值则信道忙, 否则信道空闲。
- 4) IDLE: 物理层处于空闲状态。
- 5) SLEEP: 物理层处于睡眠状态。处于此状态的节点不能进行任何操作。物理层要发送数据时要处于 TX 状态, 若为 CCA 或 IDLE 状态则转换到 TX 状态后发送数据, 其他状态不允许发送; 要接收数据时则要处于 RX 状态, 若为 CCA 或 IDLE 状态则转换到 RX 状态后接收数据, 若处于其他状态则将包丢弃。物理层接收或发送完数据后自动转换为 IDLE 状态, 睡眠时间到时进入睡眠, 睡眠结束时进入 IDLE 状态。物理层状态转换及其触发事件如图 1 所示。

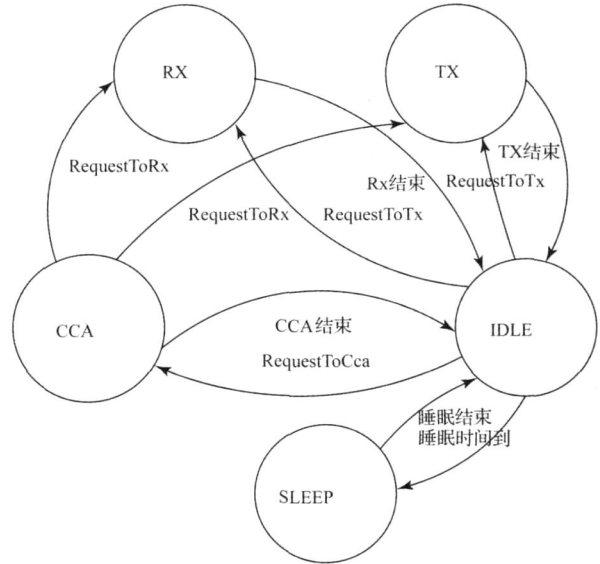


图 1 状态转换图

2.2 丢包率计算

WSN 物理层仿真模块的设计需要包含丢包率的计算。当包接收完成后, 通过计算包接收错误的概率 $P_{err}(k)$ 来判断包是否被成功接收, 方法是将 $P_{err}(k)$ 与产生的随机数比较, 若随机数 $rand$ 比 $P_{err}(k)$ 大则认为包正确, 否则错误。

为计算 $P_{err}(k)$, 需要用方程式 (3) 计算信号噪声干扰比 $SNIR(k, t)$:

$$SNIR(k, t) = \frac{S_s(t)}{N_i(k, t) + N_f} \quad (3)$$

式中: N_f 代表噪声基数, 它是接收电路的特征常量, $N_i(k, t)$ 是干扰噪声, 即在同一信道上接收到的其他信号的总和:

$$N_i(k, t) = \sum_{m \neq k} S(m, t) \quad (4)$$

在 WSN 物理层中信噪比的计算是用函数 WsnPhy CalculateSnr 来实现的。

此模型采用的调制方式为 2FSK, 由 $SNIR(k, t)$ 得 2FSK 调制的误码率 $BER(k, t)$ ^[6]:

$$BER(k, t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[\frac{\sqrt{E_b}}{\sqrt{2N_0}}(k, t) \right] \quad (5)$$

式中: $\frac{E_b}{N_0}(k, t)$ 定义为:

$$\frac{E_b}{N_0}(k, t) = SNIR(k, t) \frac{B_s}{R_b(k, t)} \quad (6)$$

式中: B_s 为信号带宽, $R_b(k, t)$ 为信号 k 在时刻 t 的比特率。

在 WSN 物理层中计算 2FSK 调制的误码率是用函数 WsnPhy GetFecFskBer 来实现的。

定义 $P_e(k, l)$ 为每个时间间隔 L 在误码率和比特率恒定的情况下数据包 k 在时间间隔 L 中错误发生概率的上界。假定高斯白噪声信道, CC1100 中采用双卷积编码维特比译码, 则 $P_e(k, l)$ 定义为:

$$P_e(k, l) = 1 - (1 - P_u(k, l))^{8L(k, l)} \quad (7)$$

式中:

$$P_u(k, l) = \sum_{d=d_{free}} a_d P_d(k, l) \quad (8)$$

d_{free} 为卷积码的自由距离, a_d 为错误事件总数, $P_d(k, l)$ 为从维特比译码中选择的错误路径的概率:

$$\begin{cases} \sum_{i=(d+1)/2}^d \binom{d}{i}^i (1 -)^{d-i} \text{disodd} \\ \frac{1}{2} \sum_{i=d/2}^d \binom{d}{i}^i (1 -)^{d-i} \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

(k, i) 相当于 $BER(k, t)$.

则,最终求得:

$$P_{err}(k) = 1 - \prod_i (1 - P_e(k, l)) \quad (10)$$

在 WSN 物理层中计算丢包率 $P_{err}(k)$ 是用函数 `WsnPhy CalculatePer` 来实现的。

3 无线传感器网络仿真流程

为验证建成的 WSN 仿真平台,将一个应用实例运行在建成的基于 NS-3 的无线传感器网络平台上。下面给出一个简单例子的仿真流程:

包含文件包括:

```
# include "ns3/core-module.h"
# include "ns3/simulator-module.h"
# include "ns3/node-module.h"
# include "ns3/helper-module.h"
# include "ns3/mobility-module.h"
# include "ns3/wsn-helper-module.h"
# include "ns3/wsn-app-module.h"
# include "ns3/wsn-device-module.h"
# include <fstream>
```

建立 3 个节点:

```
NodeContainer c;
```

```
c.Create(3);
```

通过 `WsnHelper` 将节点和网络设备、信道相连,设置物理层和 MAC 层:

```
WsnHelper wsn;
```

```
NetDeviceContainer Wsndevices =
```

```
wsn.Install(c);
```

设置节点移动模型为静止模型:

```
MobilityHelper mobility;
```

```
Ptr<ListPositionAllocator> positionAlloc =
```

```
CreateObject<ListPositionAllocator>();
```

```
positionAlloc->Add(Vector(0.0, 0.0, 0.0));
```

```
positionAlloc->Add(Vector(3.0, 3.0, 0.0));
```

```
positionAlloc->Add(Vector(5.0, 0.0, 0.0));
```

```
mobility.SetPositionAllocator(positionAlloc);
```

```
mobility.SetMobilityModel("ns3 StaticMobilityModel");
```

```
mobility.Install(c);
```

给节点添加应用层,设置应用开始、结束时间:

```
WsnAppHelper helper;
```

```
ApplicationContainer apps = helper.Install(c);
```

```
apps.Get(0)->Start(Seconds(0.5));
```

```
apps.Get(0)->Stop(Seconds(3.0));
```

形成跟踪文件:

```
std::ofstream ascii;
```

```
ascii.open("wsnexample1.tr");
```

```
WsnHelper.EnableAsciiAll(ascii);
```

仿真开始和结束:

```
Simulator Run();
```

```
Simulator Destroy();
```

包的传递流程如图 2:

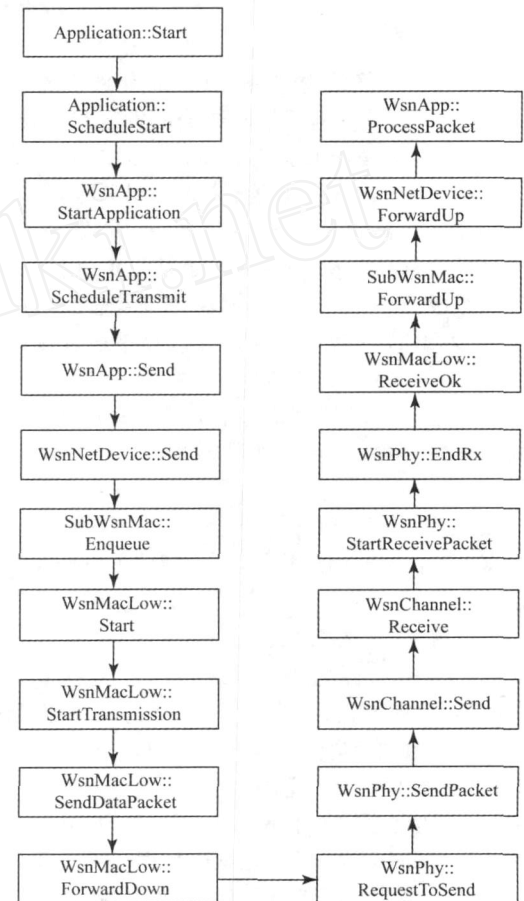


图 2 包的传递流程

仿真参数设置为^[7]: 带宽 200kHz, 数据速率为 100kbps, 采用 FSK 调制, 信号能量检测门限为 -88db, 传输增益和接收增益都为 1db, 包的大小为 107 字节。

目前 NS-3 还没有仿真数据的图形化显示功能, 仿真结果的部分截图如图 3 所示。

从上图可以看出数据包可以经过各层顺利地在节点

```

Compilation finished successfully
index=0
index=0
INFO_trace: File=../src/usn/usn-app/usn-app.cc,Line=111,Function=Send
Test_UsnNetDevice_135
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=261,Function=StartTra
nsmission
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=512,Function=SendData
Packet
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=441,Function=ForwardD
own
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-phy.cc,Line=612,Function=RequestToSen
d
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-phy.cc,Line=600,Function=SendPacket
propagation: txPower=17.0206dbm, rxPower=-50.6262dbm, distance=5m, delay=16ns
Test_UsnApp_98
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-channel.cc,Line=92,Function=Receive
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-phy.cc,Line=520,Function=StartReceive
Packet
sync (power=1.08787e-08W)
Fsk snr=2.71633e+06 ber=0
Fsk snr=2.71633e+06 ber=0
Fsk snr=2.71633e+06 ber=0
mode=100000, ber=0, snr=2.71633e+06, per=0, size=107
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-phy.cc,Line=1910,Function=EndRx
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=302,Function=Receive0
k
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=349,Function=Receive0
k
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-netdevice.cc,Line=211,Function=Forwar
dUp
receive packet size101
INFO_trace: File=../src/usn/usn-app/usn-app.cc,Line=97,Function=ProcessPacket
INFO_trace: File=../src/usn/usn-device/usn-nac-lov.cc,Line=543,Function=SendAckh
iterData

```

图 3 仿真结果部分截图

间传输。包的大小,调制方式,信噪比,误码率,传输时延,发送功率,接收功率等信息可以从仿真结果中读出。从显示结果可以看出此平台的性能满足要求,此无线传感器网络平台是可行的。

4 结 论

本文将一个简单的通信实例在搭建好的无线传感器

网络平台上运行起来,可是平台本身并不完善,重点是放在了物理层,MAC 层还没有完善,只包含基本的接入和 ACK 机制,完善 MAC 层是下一步要做的工作。

参 考 文 献

- [1] 刘彪. NS-2 模拟器及其教育应用[J]. 电脑知识与技术, 2007(10): 1148-1149.
- [2] 杨路明,李谢华. 网络仿真软件比较分析及仿真过程探讨[J]. 计算机技术与自动化, 2002, 21(4): 65-70.
- [3] 唐小军. IEEE802. 15. 4 无线传感去网络的研究和实现[D]. 重庆:重庆大学, 2007.
- [4] 孙维明,石江宏. 可编程 RF 收发器 CC1100 的原理及开发[J]. 国外电子元器件, 2008(9): 40-42.
- [5] 林恺,赵海. 无线传感器网络路由中的能量预测及算法实现[J]. 通信学报, 2006, 27(5): 24-24.
- [6] 樊昌信,张甫翊等. 通信原理[M]. 北京:国防工业出版社, 2006.
- [7] 于海斌. 无线传感器网络物理层协议的研究现状[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 596.

作 者 简 介

李艳蕊,女,1986 年 12 月出生,现为厦门大学通信与信息系统专业硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络。
E-mail: liyanrui1226 @126. com.



(上接第 51 页)

- [4] 于海斌,曾鹏,王忠锋,等. 分布式无线传感器网络通信协议研究[J]. 国外电子测量技术, 2004(10): 45-52.
- [5] STANOJEV S, I, SAVAZZI S, et al. Spectrum leasing to cooperation secondary AD hoc network[J]. Selected Areas in Communications, IEEE, 2008, 1(26): 203-213.
- [6] NOLAN K. E, RONDEAU T W, SUTTON P. Demonstration and analyses of collaboration, co-existence, and interoperability of cognitive Radio platform[J]. IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2007: 1149-1153.
- [7] ZHU J, LIU K J R, Multi-stage pricing game for collusion-resistant dynamic spectrum allocation[J]. Selected Areas in Communications, IEEE, 2008, 1(26): 182-192.
- [8] LEE J, KIM YOUNG M. Weighted-cooperative spectrum sensing scheme using clustering in

cognitive radio systems[C]. IEEE ICACT 2008, 2008: 786-790.

作 者 简 介

张超,男,1985 年 9 月出生,同济大学电子与信息工程学院。工学硕士,主要研究方向为宽带通信与信息处理。
E-mail: vzhangvchaov @126. com



郭爱煌,男,1964 年 6 月,博士,同济大学电子与信息工程学院。教授,主要研究方向为宽带通信网络技术。
E-mail: xjtugah @yahoo. com. cn

