

УДК 519.876.5

У статті проведений аналіз існуючих засобів імітаційного моделювання бездротових сенсорних мереж. Показана адекватність створених моделей в середовищі імітаційного моделювання OMNET++. Наведені експериментальні дані по моделюванню бездротової сенсорної мережі

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, імітаційне моделювання, адекватність моделі, OMNET++

В статье проведен анализ существующих средств имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей. Показана адекватность созданных моделей в среде имитационного моделирования OMNET++. Приведены экспериментальные данные по моделированию беспроводной сенсорной сети

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, имитационное моделирование, адекватность модели, OMNET++

АДЕКВАТНОСТЬ МОДЕЛЕЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ В СРЕДАХ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. С. Борисенко

Аспирант*

E-mail: borisenko_ana@ukr.net

П. В. Галкин

Ассистент*

*Кафедра проектирования и эксплуатации электронных аппаратов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

E-mail: galkinletter@ukr.net

1. Введение

Статья посвящена анализу средств имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей (БСС), а также проверки полученных моделей на адекватность. Средства имитационного моделирования применяются для полноценной проверки работы БСС для большого количества узлов сенсорной сети [1]. Применение специализированных средств имитационного моделирования позволяет совершенствовать разрабатываемые модели, протоколы, стеки, маршруты и проводить их оптимизацию без реального развертывания сети.

Актуальность рассматриваемых в статье вопросов обусловлена необходимостью проверки разрабатываемых моделей на адекватность при применении средств имитационного моделирования. Адекватность модели зависит от цели моделирования и принятых критериев.

2. Анализ литературных источников и постановка проблемы

Беспроводные сенсорные сети предназначены для использования в системах сбора данных и управления. Они предоставляют собой распределённую, самоорганизующуюся и устойчивую к отказу отдельных элементов сеть миниатюрных электронных устройств с автономным источником питания. В настоящее время стоимость компонентов сенсорных сетей достаточно велика, чтобы иметь возможность построить сеть значительных размеров для научных исследований. В этом случае актуальной является задача имитационного моделирования отдельных событий и состояний этих сетей.

Анализу средств имитационного моделирования посвящено много работ, как в отечественных, так и зарубежных источниках [2 – 8].

Из разработанных на данный момент имитационных средств моделирования сетей можно выделить *OPNET Modeler*, *GloMoSim (QualNet)*, *NetSim*, *OMNeT++*, *NS-2*, *NS-3*.

OPNET Modeler - коммерческий симулятор, содержит модели большого числа существующих протоколов, технологий и устройств, инструменты анализа статистики [2].

GloMoSim - основанный на среде симуляции *Parsec*, *GloMoSim* был популярен в 1998-99 гг. Модели в нем описываются на *PARSEC C*. Разработка остановилась в 2000 г [3].

QualNet - коммерческий симулятор, основанный на *GloMoSim*. В отличие от последнего, содержит описание моделей на *C++*. Похож на *OPNET* [4].

NetSim - коммерческий симулятор, по причине низкой стоимости при достаточном функционале использующийся в более чем 250 университетах мира [5].

OMNeT++ - бесплатный для некоммерческого пользования симулятор со средой разработки, основанной на *Eclipse* и графическими инструментами *Castalia* [6].

NS, *NS-2*, *NS-3* - система имитационного моделирования с открытым исходным кодом.

Версия 2 до сих пор широко используется, хотя ее разработка официально прекратилась в 2000 году [7, 8].

Все приведённые выше системы моделирования беспроводных сенсорных сетей позволяют:

- повысить эффективность разработки беспроводных сенсорных сетей;
- провести эксперимент без реального развертывания сенсорной сети;

- проводить научные исследования в области БСС;
- существенно сократить затраты на разработку и развертывание сети.

Сравнение некоторых сред имитационного моделирования приведенные в табл. 1 [9].

В тоже время адекватность модели - совпадение свойств и характеристик модели и соответствующих свойств реальной БСС можно проверить, проведя натурный эксперимент и сравнив его с результатами имитационного моделирования [10].

Таблица 1

Сравнение сред имитационного моделирования

Параметры моделирования	OPNET		NS-2	OMNET++
	OPNET Modeler 14.0	OPEN-ZB 3.0 (beta)	Zheng	Castalia
Задачи физического уровня (IEEE 802.15.4)				
Вкл/выкл приемопередатчика	-	+	-	+
Определение энергии в текущем канале	+	+	+	+
Индикация качества соединения для полученных пакетов (LQD)	+	+	+	+
Оценка чистоты канала (CCA) для механизма CSMA-CA	+	+	+	+
Выбор частотного канала	+	-	+	-
Поддержка частотных диапазонов 868/915/2450	+ / + / +	- / - / +	+ / + / +	+ / + / +
Задачи уровня доступа к среде (IEEE 802.15.4)				
Координатором	-	+	+	+
Синхронизация маркерами сети	-	+	+	+
Режим работы без маркеров	+	-	+	-
Поддержка ассоциации и дисассоциации с частной сетью (PAN)	+	+	+	+
Поддержка топологий звезда/точка-точка	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
Поддержка безопасности устройств	-	-	-	-
Реализация механизма slotted CSMA-CA	-	+	+	+
Реализация механизма unslotted CSMA-CA	+	-	+	-
Управление и поддержка механизма GTS	-	+	-	+
Поддержка надежного соединения между двумя уровнями MAC	+	+	+	+
Режим прямых передач	+	-	+	+
Режим косвенных передач	-	+	+	-
Сетевой уровень				
Наличие протоколов маршрутизации	+	+	-	+
Соответствие спецификации ZigBee	+	-	-	+
Дополнительные возможности модели				
Мобильность узлов	+	-	-	+
Расчет потребляемой узлами энергии	-	+	-	+

Проверка адекватности математической, и построенной на ее основе имитационной, модели натурному эксперименту проводится только в случае ненасыщенного планирования на основе сопоставления дисперсии воспроизводимости среднего значения функции отклика и дисперсии адекватности.

В статистике разработан критерий для проверки гипотезы об адекватности модели. Он называется F-

критерием Фишера и определяется следующей формулой[^]

$$F = \frac{S_r^2}{S_e^2} \leq F_{кр} | p = 0,95, \quad (1)$$

$$\phi_1 = N - (m + 1), \quad (2)$$

$$\phi_2 = N(v - 1), \quad (3)$$

где Sr^2 – остаточная дисперсия или дисперсия адекватности,

Se^2 – дисперсия воспроизводимости со своим числом степеней свободы,

m – число оцениваемых параметров (коэффициентов модели),

N – общее число экспериментов,

ϕ_1, ϕ_2 – число степеней свободы,

v – число параллельных измерений в каждой экспериментальной точке ($v > 1$).

Дисперсия воспроизводимости определяется:

$$Se^2 = \frac{Se}{\phi_2}, \quad (4)$$

$$Se = \sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_i)^2, \quad (5)$$

$$\phi_2 = n - 1, \quad (6)$$

$$Se^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n y_{ij}, \quad (7)$$

где n – число параллельных измерений в любой точке вне плана (если нет возможности проведения v параллельных измерений в каждой точке плана).

Оценка дисперсии адекватности при точках плана эксперимента $N > m$ характеризует отклонения между результатами наблюдений и значениями, формируемыми по функции отклика:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N - m_{i-1}} (\bar{y}_i - y'_i)^2, N > m, \quad (8)$$

где y' – среднее значение результатов наблюдения в i -й точке плана;

y'_i – значение отклика в этой же точке, предсказанное на модели.

Количество степеней свободы дисперсии адекватности $\phi_1 = N - m$. При насыщенном планировании нет степеней свободы и сумма отклонений равна нулю.

Проверка адекватности сводится к проверке гипотезы об однородности оценки дисперсии воспроизводимости со своим числом степеней свободы и оценки дисперсии адекватности. Проверка осуществляется по критерию Фишера. Оценки дисперсий в формуле расчета критерия расставляются так, чтобы его величина была больше единицы, критическая область является двусторонней. Если вычисленное значение критерия меньше критического, то нет оснований для сомнений в адекватности модели.

Однако положительный исход статистической проверки не гарантирует достоверной адекватности, а тем более истинности модели. Когда гипотеза отклоняется, следует вывод о неадекватности модели, следовательно, она заведомо не является истинной. Дальнейшее применение неадекватной модели обычно нецелесообразно, и надо принять меры по ее совершенствованию.

Причиной неадекватности могут являться: ошибки в организации и проведении опытов, например неконтролируемое изменение неучтенных в модели факторов; погрешности в задании исходных данных и в измерении результатов; большой размах варьирования факторов и другие причины. Иначе говоря, анализ причин неадекватности требует серьезного изучения

сущности исследуемого процесса и методов его исследования.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является выявление адекватности модели БСС полученной в среде имитационного моделирования OMNET++.

Для достижения поставленной цели необходимо описать БСС в среде имитационного моделирования, провести моделирование и сравнить результаты с натурным экспериментом.

4. Решение задачи

Каждый оконечный узел беспроводной сенсорной сети аппаратно идентичный. Поэтому для создания модели работы сети достаточно подробного описания типичного узла и алгоритмов взаимодействия. В средах имитационного моделирования работа беспроводной сенсорной сети реализуется с использованием принципов агентного моделирования. Агентные модели позволяют получить представление, об общем поведении сети исходя из предположений о поведении ее элементов.

Для моделирования сети в среде OMNeT++ необходимо создать файл конфигурации omnetpp.ini:

```
[General]
network = WSN
include ../Parameters/Castalia.ini
sim-time-limit = 6000s
SN.numNodes = 8
```

```
WSN.node[*].Communication.MACProtocolName =
="Mac802154"
```

```
WSN.node[*].Communication.MAC.isFFD = true
WSN.node[0].Communication.MAC.isPANCoordinator =
true
```

```
WSN.node[*].Communication.MAC.phyDataRate =
=1024
```

```
WSN.node[*].Communication.MAC.phyBitsPerSymbol = 2
```

```
WSN.wirelessChannel.pathLossMapFile = "../Parameters/
WirelessChannel/BANmodels/pathLossMap.txt"
```

```
WSN.wirelessChannel.temporalModelParametersFile =
="../Parameters/WirelessChannel/BANmodels/Temporal-
Model.txt"
```

```
WSN.node[*].ApplicationName = "ThroughputTest"
WSN.node[*].Application.startupDelay = 1
```

```
WSN.node[*].Communication.Radio.RadioParameters-
File = "../Parameters/Radio/BANRadio.txt"
```

```
WSN.node[*].Communication.Radio.TxOutputPower =
="-25dBm"
```

Файл конфигурации начинается с раздела [General]. В нем указываются общие параметры для всех сценариев. Перед моделированием сети необходимо определить следующие параметры:

- количество узлов (numNodes);
- время моделирования (sim-time-limit);

- настройки протокола канального уровня (Communication.MAC);
- сервер приложений (Application);
- настройки радиоканала (Communication.Radio).

Результат работы среды имитационного моделирования OMNeT++ работающей на основе модели состоящей из 8 узлов приведен на рис. 1.

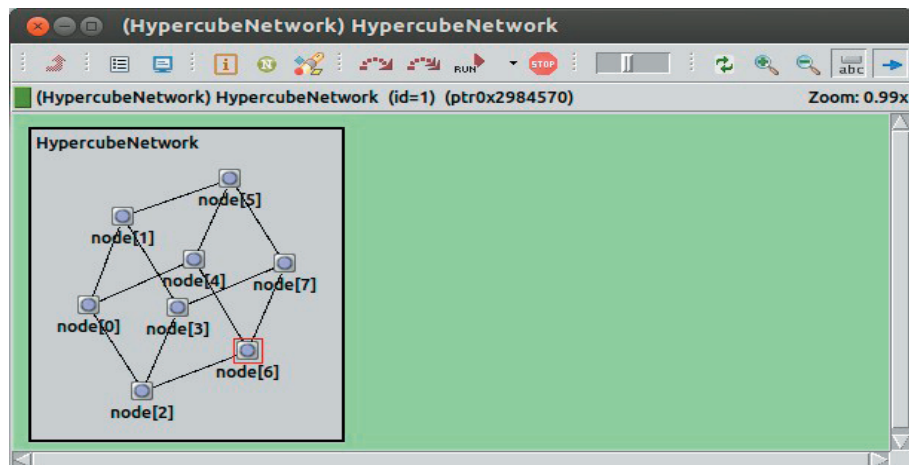


Рис. 1. Результат работы имитационной модели БСС состоящих из 8 узлов

На рис. 2 представлена имитационная модель БСС с древовидной топологией.

Полученные результаты имитационного моделирования были сравнены с данными натуральных экспериментов, и было установлено, что они адекватные.

Данный факт говорит о том, что имитационное моделирование и математическая модель БСС лежащая в его основе является адекватной.

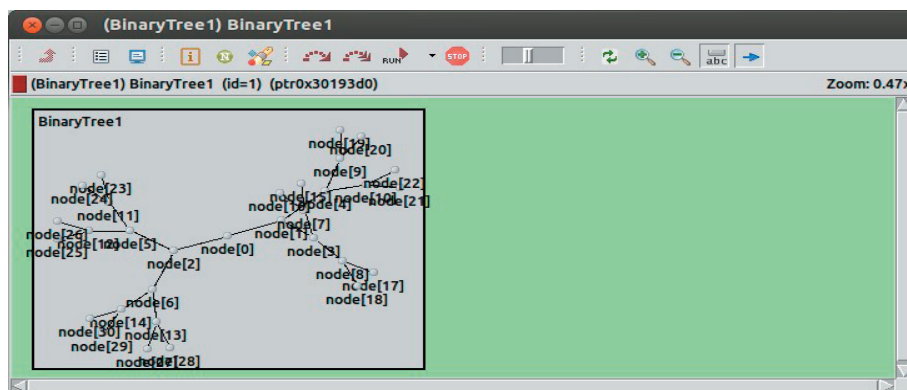


Рис. 2. Результат работы имитационной модели БСС с древовидной топологией

5. Выводы

Программный пакет OMNET++ 4.3 и Castalia дают возможность высокоточного имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей. Создание имитационных моделей БСС на основе такой системы имитационного моделирования дает возможность построить адекватные модели.

Проведённый имитационный эксперимент, который отображает модель БСС состоящую из 8 узлов, соответствует ранее проведенному натурному эксперименту, что доказывает адекватность предложенной модели. Также сравнение было проведено для имитационной модели БСС с древовидной топологией.

Полученные результаты подтверждают возможность применения системы OMNET++ для получения адекватных моделей БСС.

Литература

1. Телятников, О. О Моделирование бездротовых сенсорных сетей [Текст] / О. О. Телятников, Л. А. Кудр // Проблемы информационных технологий. – 2009. – №2. – С. 17-26.
2. Opnet Modeler [Электронный ресурс] / The Application Performance Company. – Режим доступа: \www/ URL: <http://www.opnet.com> – 05.05.2013 г. – Загл. с экрана.
3. QualNet [Электронный ресурс] / SCALABLE Network Technologies. – Режим доступа: <http://web.scalable-networks.com/content/qualnet> – 25.06.2013 г. – Загл. с экрана.
4. Bellman, R. On a Routing Problem [Text] / R. Bellman // Quarterly of Applied Mathematics. 1958. – Vol 1. – No. 1. – С. 87–90.
5. Boson NetSim 6 for CCNA [Электронный ресурс] / Network Simulation Software. – Режим доступа: <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=133818> – 20.05.2013 г. – Загл. с экрана.
6. OMNeT++ [Электронный ресурс] / OMNeT++ Community. – Режим доступа: <http://omnetpp.org/> – 10.06.2013 г. – Загл. с экрана.
7. The Network Simulator - ns-2 [Электронный ресурс] / ns-2 wiki. – Режим доступа: <http://isi.edu/nsnam/ns/> – 01.07.2013 г. – Загл. с экрана.
8. NS-3 [Электронный ресурс] / NS-3 Consortium. – Режим доступа: <http://www.nsnam.org/> – 15.06.2013 г. – Загл. с экрана.
9. Robert, F. Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing [Text] / F Robert // O'Reilly Media. – 2010. – С. 322.
10. Борисенко, А.С. Протоколы сетей MESH в ZIGBEE / А.С. Борисенко, П.В. Галкин, Л.В. Головкина [Текст] : сб. науч. тр. / Materiały VI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Aktualne problemy nowoczesnych nauk-2010» Volume 31. Techniczne nauki. Fizyczna kultura i sport.: Przemysl. Nauka i studia-96 str. С. 11–14.