

А.А. Галкин, А.С. Восков

СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СОБЫТИЙ И СОСТОЯНИЙ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Дается общая характеристика средств имитационного моделирования отдельных событий и состояний беспроводных сенсорных сетей. Проведена классификация моделей, соответствующих стандарту IEEE 802.15.4 [1], дается их краткое описание.

Ключевые слова: имитационное моделирование, беспроводные сенсорные сети

Беспроводные сенсорные сети предназначены для использования в системах сбора данных и управления. Они представляют собой распределенную, самоорганизующуюся и устойчивую к отказу отдельных элементов сеть миниатюрных электронных устройств с автономным источником питания. Узлы такой сети ретранслируют сообщения по цепи, обеспечивая значительную площадь покрытия системы при малой мощности.

Сенсорные сети могут насчитывать сотни и тысячи узлов, которые собирают информацию, обрабатывают её и при необходимости отсылают устройству сбора данных и принятия решений.

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 средствами, бесплатными для некоммерческого использования¹.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является классификация существующих моделей беспроводных сенсорных сетей, построенных на базе средств имитационного моделирования отдельных событий и состояний, по следующим критериям: полнота реализованных задач стандарта IEEE 802.15.4 [1], возможность бесплатно некоммерческого использования и наличие технической поддержки.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться со стандартами IEEE802.15.4-2003

A.A. Galkin, L.S. Voskov

MEANS IMITATING MODELLING OF SEPARATE EVENTS AND CONDITIONS OF WIRELESS TOUCH NETWORKS

The general characteristic of means of imitating modelling of separate events and conditions of wireless touch networks is given. It is spent classification the models corresponding to standard IEEE 802.15.4 [1], their short description is given.

Keywords: imitating modelling, wireless touch networks

и IEEE802.15.4-2006, определить задачи физического уровня и уровня доступа к среде.

2. Проанализировать существующие средства имитационного моделирования отдельных событий и состояний на предмет возможности моделирования беспроводных сенсорных сетей.
3. Проанализировать существующие для этих средств модели, соответствующие стандарту IEEE 802.15.4.
4. Произвести классификацию существующих моделей по заданным выше критериям.
5. По результатам классификации сделать выводы о наиболее применимых моделях.

Научная новизна исследований

Предполагается получить классифицированные данные по доступным на текущий момент средствам имитационного моделирования отдельных событий состояний беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.15.4-2003, 2006.

Результаты исследования

В ходе исследования средств имитационного моделирования отдельных событий и состояний беспроводных сенсорных сетей на базе стандарта IEEE 802.15.4-2003,2006 было выявлено, что наибольшее распространение получили следующие среды:

1. OPNET Modeler (текущая версия 16.0);
2. OMNET++ (текущая версия 4.0);
3. NS-2 (текущая версия 2.34).

¹ OPNET Modeler 9.1 Academic Edition свободно доступна для скачивания с сайта <http://opnet.com>, др. версии бесплатны только для университетов США.

NS-2 (Network Simulator Version 2)

NS-2 – объектно-ориентированная среда имитационного моделирования дискретных событий и состояний с открытым исходным кодом, которая разработана в рамках проекта VINT. Среда моделирования написана на C++ и TCL. NS-2 использует TCL для генерации сценариев – это позволяет генерировать комплексные сценарии при помощи скриптов.

Изначально NS-2 поддерживал моделирование только статических компьютерных сетей TCP/IP. Однако сейчас поддерживаются мобильные узлы, что позволяет моделировать мобильные сети ad-hoc. Поддерживаются протоколы маршрутизации ad-hoc AODV, DSDV, DSR и TORA, но они требуют доработки для корректной работы с мобильными узлами.

Для NS-2 существует модель, реализующая стандарт IEEE 802.15.4, разработанная Д. Женгом и др. Структура компонентов модели LR-WPAN и основные её функции представлены на рис. 1.

Следует упомянуть, что в первых версиях модели были реализованы базовые функции сетевого уровня ZigBee, но позднее они были исключены из общего доступа, поскольку не в полной мере соответствовали данному стандарту. В связи с этим на текущий момент можно использовать только существующие в NS-2 протоколы маршрутизации, которые не до конца учитывают особенности беспроводных сенсорных сетей.

Документации по модели явно недостаточно, автор в основном предлагает обращаться к презентации, доступной вместе с исходным кодом модели, к списку часто задаваемых вопросов и анализировать исходный код модели.

OPNET Modeler

(Optimized Network Engineering Tools)

OPNET Modeler – мощная среда имитационного моделирования дискретных событий и состояний. Она включает множество библиотек сетевых технологий и протоколов связи, таких как TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), протокол передачи гипертекста (HTTP), технология асинхронного режима передачи (ATM) и FrameRelay, IP-QoS, 802.11 (Wi-Fi), ZigBee и др. Эти библиотеки поставляют блоки для построения моделей сетей. Одним из множества модулей, доступных в OPNET Modeler, является беспроводной модуль. Он расширяет функциональность среды для имитационного моделирования и анализа беспроводных сетей.

В версии OPNET Modeler 14.0 доступны модели узлов ZigBee, разработанные самой компанией OPNET. При этом исходный код модели сетевого



Рис. 1. Структура компонентов модели LR-WPAN NS-2

уровня и уровня приложений скрыт от пользователей. Доступен только код модели нижнего уровня 802.15.4.

Также существует модель узлов-сенсоров с открытым исходным кодом, соответствующая стандарту IEEE 802.15.4, разработкой которой занимается сообщество OPEN-ZB. Разные версии данной модели работают с OPNET Modeler 10.5 и выше (табл. 1).

Модель OPEN-ZB

Модель реализует физический уровень и уровень доступа к среде, и соответствует стандарту IEEE 802.15.4. Версия модели 2.1 поддерживает только топологию «звезда», где коммуникации происходят между конечными устройствами через центральное устройство, называемое координатором частной сети.

В модели версии 2.1 существует два типа узлов:

1. wpan_analyzer_node – узел, который собирает глобальные для частной сети статистические данные;
2. wpan_sensor_node – узел, который реализует протоколы связи стандарта IEEE 802.15.4-2003

Структура узла-сенсора, использованная в модели, состоит из четырех функциональных блоков (рис. 2):

1. **Физический уровень** состоит из радиопередатчика (tx) и приёмника (rx), которые в соответствии со спецификацией IEEE 802.15.4 работают на частоте 2,4 ГГц со скоростью обмена данными 250 Кбит/сек. Мощность передатчика установлена в 1мВт с модуляцией QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Физический уровень реализован при помощи уже существующего в OPNET Modeler беспроводного модуля с указанием параметров, соответствующих стандарту IEEE 802.15.4.

Таблица 1. Существующие модели OPEN-ZB для OPNET

OPEN-ZB модель	Дата выпуска	Версия OPNET
OPNET Simulation Model v 3.0(beta)	20.11.2009	15.0
OPNET Simulation Model v 2.1	31.03.2009	14.5
OPNET Simulation Model v 2.0	22.05.2007	11.5
OPNET Simulation Model v 1.0	06.04.2006	10.5



Рис. 2. Модель OPEN-ZB 2.1

- Уровень доступа к среде реализует алгоритм CSMA/CA с фиксированными временными слотами ожидания передачи (slotted CSMA/CA) и механизм гарантированных временных слотов (GTS). GTS трафик (т.е. трафик, чувствительный к скорости доставки), приходящий от уровня приложения, сохраняется в буфере определенной ёмкости и передается в сеть, когда соответствующий временной слот активен. Нечувствительные к времени доставки кадры данных сохраняются в неограниченном буфере и передаются в сеть в течение периода активной конкуренции, в соответствии с алгоритмом CSMA/CA с фиксированными временными слотами ожидания передачи. Данный уровень также может генерировать кадры маркеры для синхронизации устройств в сети, если узел работает в режиме координатора.
- Уровень приложения – состоит из двух генераторов трафика (Traffic Source и GTS Traffic Source) и одного получателя (Traffic Sink). Источник обычного трафика (Traffic Source) генерирует кадры данных с флагом подтверждения доставки и без, которые передаются в течение периода конкурентного доступа (CAP). Источник трафика (GTS Traffic Source) с гарантированными временными слотами может использоваться для создания кадров данных с флагом подтверждения доставки и без, которые чувствительны к задержкам в сети. Модуль получателя принимает кадры от нижних уровней и считает сетевую статистику.
- Модуль батареи – вычисляет потребляемый и оставшийся уровень энергии. Значения по умолчанию для модели установлены в соответствии со спецификацией MICAz.



Рис. 3. Встроенная модель OPNET Modeler 14.0

Модель достаточно хорошо документирована, продолжает дорабатываться и поддерживаться. Более подробная характеристика модели приведена в техническом описании [2].

В недавно вышедшей версии 3.0 (beta) также реализованы следующие функции:

- сетевой уровень ZigBee;
- иерархическая маршрутизация по дереву ZigBee;
- проверка адресов узлов для поддержки адресной схемы дерева кластеров ZigBee.

Встроенная в OPNET модель ZigBee

Встроенная в OPNET Modeler 14.0 реализует не только физический уровень и уровень доступа к среде стандарта IEEE 802.15.4-2003, но и сетевой уровень ZigBee. Модель поддерживает топологии: звезда, дерево и ячеистая сеть.

Модель содержит три типа узлов в соответствии со спецификацией ZigBee:

1. Координатор (Coordinator);
2. Маршрутизатор (Router);
3. Конечное устройство (End Device).

Структура узла-сенсора, использованная в модели, представлена четырьмя функциональными блоками (рис. 3):

1. Физический уровень состоит из радиопередатчика (wireless_tx) и приёмника (wireless_rx), которые в соответствии со спецификацией IEEE 802.15.4-2003 могут работать на частотах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. Физические характеристики сети задаются на координаторе. Мощность передатчика установлена в 5 мВт.
2. Уровень доступа к среде реализует алгоритм CSMA/CA без фиксированных временных слотов ожидания передачи, и часть других функций данного уровня в соответствии со стандартом IEEE 802.15.4.
3. Сетевой уровень реализует функции в соответствии со спецификацией ZigBee. Исходный код блока недоступен, поставляется в компилированном виде.
4. Уровень приложения позволяет генерировать трафик и инициировать поиск и присоединение к сети. Исходный код блока недоступен, поставляется в компилированном виде.

OMNeT++

(Objective Modular Network Testbed in C++)

OMNeT++ – среда имитационного моделирования дискретных событий и состояний с открытым

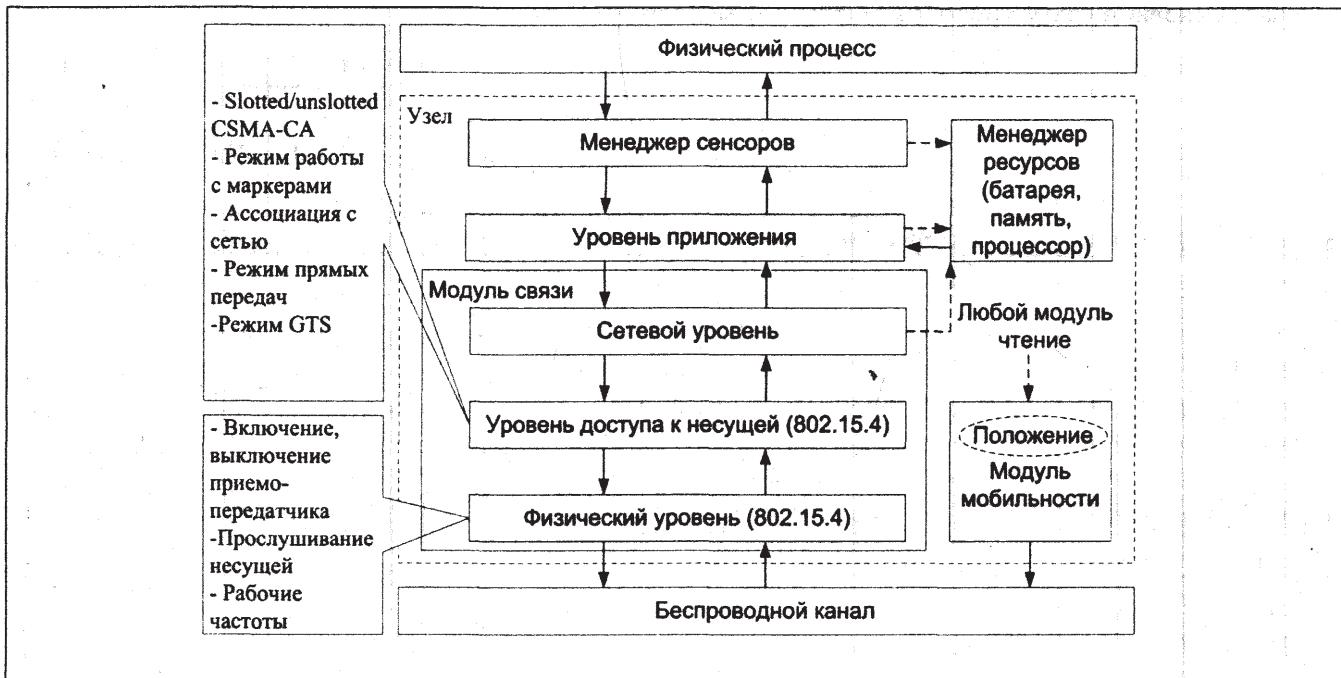


Рис. 4. Внутренняя структура узла

исходным кодом, основанная на компонентах, которая становится всё более популярной. Основная область применения – моделирование сетей передачи данных, ИТ систем и бизнес процессов. Компоненты OMNeT++ написаны на C++.

На базе среды моделирования OMNeT++ 3.3р1 построен симулятор различных протоколов беспроводных сенсорных сетей Castalia (текущая версия 2.3b). В нём также реализована модель, соответствующая стандарту IEEE 802.15.4.

На базе рассматриваемой среды моделирования существуют библиотеки INETMANET и MiXiM, которые позволяют создавать модели беспроводных сенсорных сетей, но на текущий момент готовые модели отсутствуют.

Следует упомянуть, что существует модель, которая портирована в среду OMNET++ 3.3 Ф. Ченом и др. [3] из модели Д. Женга под NS-2. Текущая версия этой модели 0.2, но поскольку она более не поддерживается и во многом идентична модели под NS-2, то рассматриваться в данной статье не будет.

Castalia

Castalia – симулятор сетей с низким энергопотреблением. Особенностью данного симулятора является то, что команда разработчиков ставила перед собой задачу реализовать модели не только уровней передачи данных, но и смоделировать физические процессы, данные о которых собираются в узлах. В результате получается, что беспроводные сенсоры

связаны между собой не только беспроводными каналами связи, но и физическим процессом, параметры которого они измеряют.

Внутренняя структура узла представлена на рис. 4. Сплошные стрелки обозначают прохождение сообщений между модулями, а пунктирные – интерфейс между ними с вызовом простых функций. Например, большинство модулей вызывают функции менеджера ресурсов для оповещения об израсходованной энергии.

Модель узла представлена следующими модулями:

1. Модуль управления сенсорами – позволяет генерировать более реальный трафик в БСС, нежели просто использование генераторов пакетов данных, предлагаемых другими моделями.
2. Модуль приложения чаще всего используется пользователями симулятора для реализации тестируемых алгоритмов. В симуляторе уже существует несколько простейших модулей приложения. Например, приложение оценки пропускной способности сети.
3. Модуль связи – состоит из трёх уровней:
 - сетевой уровень – позволяет реализовать различные алгоритмы маршрутизации в беспроводной сенсорной сети. На текущий момент есть готовые простейшие алгоритмы маршрутизации (например, маршрутизация по дереву);
 - уровень управления доступом к середине, в том числе IEEE 802.15.4. В версии 2.3b реализована основная часть задач уровня, описанная в стандарте IEEE 802.15.4 – 2006;

Таблица 2. Основные возможности рассмотренных моделей БСС

	OPNET modeler 14.0	OPEN- ZB 3.0 (beta)	Zheng	OMNET++ Castalia
Задачи физического уровня (IEEE 802.15.4)				
Включение/выключение приёмопередатчика	-	+	-	+
Определение энергии в текущем канале (ED)	+	+	+	+
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	+	+	+1	+
Соответствие спецификации ZigBee	+	+3	-2	-
Доп. возможности модели				
Мобильность узлов	+	-	-	+
Расчет потребляемой узлами энергии	-	+	-	+
Примечание:				
1. Используются протоколы маршрутизации, встроенные в NS-2, т.е. не учитывающие особенностей				
2. Изначально в модели присутствовала простейшая реализация сетевого уровня ZigBee, но				
впоследствии она была исключена из модели как недостоверная				
3. Beta версия				

- физический уровень. Разработчики Castalia уделили особое внимание моделированию физического уровня беспроводного сенсора. В симуляторе уже заданы параметры следующих модулей: Mica2_CC1000 и TelosB_CC2420.
- Модуль мобильности – хранит положение остальных узлов в сети и предоставляет данные о положении узла модели радиоканала.
- Модуль управления ресурсами управляет различными ресурсами узла и наиболее важным из них –

- потребляемой энергией.
- Модуль радиоканала учитывает средние потери при распространении, изменения сигнала во времени, интерференцию. Также есть возможность использовать модель идеального радиоканала.

Заключение

На момент проведения исследования не было найдено ни одной имитационной модели БСС, основанной на стандарте 802.15.4 и реализующей полностью все его функции (см. табл. 2). Поэтому при моделирова-

нии беспроводных сенсорных сетей для окончательного выбора среди моделирования и используемой модели необходимо исходить из тех функций стандарта, которые планируется исследовать.

Наиболее перспективными в плане дальнейшей поддержки и развития представляются модели open-zb и Castalia. Особое внимание необходимо обратить на модель Castalia, поскольку команда разработчиков изначально ставила перед собой задачу смоделировать все аспекты работы беспроводных сенсорных сетей, её исходный код является открытый и, что особенно важно, среда моделирования, на основе которой она построена, имеет также открытый исходный код и распространяется бесплатно для некоммерческого использования.

Модель же open-zb, к сожалению, построена на базе очень дорогого коммерческого продукта OPNET Modeler 10.5 и выше, бесплатного только для университетов США.

ЛИТЕРАТУРА

- IEEE Std 802.15.4-2006. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE standard for

Information Technology – Revision of IEEE Std 802.15.4-2003; approved 2006-06-07 – N.Y.: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2006. 323 p. ISBN 0-7381-4997-7.

- Jurink P, Koubva A. The IEEE 802.15.4 OPNET Simulation Model: Reference Guide v2.0, IPP-HURRAY Technical Report, HURRAY-TR-070509, 2007.
- Feng Chen, Nan Wang, German R, and Dressler F. Simulation study of IEEE 802.15.4 LR-WPAN for industrial applications.
- Timm-Giel A., Murray K., Becker M., Lynch C., Gerg C., Pesch D. Comparative Simulations of WSN, 2008.
- Abdolrazaghi A. Unifying Wireless Sensor Network Simulators, 2009.
- OMNeT++. <http://www.omnetpp.org/>.
- MiXiM. <http://mixim.sourceforge.net/>.
- OPNET. <http://opnet.com/>
- Castalia. <http://castalia.npc.nicta.com.au/>

Восков Л.С.,
профессор кафедры ВСиС МИЭМ,
e-mail: voskov@narod.ru

Далкин А.А.,
аспирант МТИЭМ

О.А. Шунина

ВЗАИМОСВЯЗЬ КАТЕГОРИЙ "КАЧЕСТВО" И "РИСК"

В данной статье автор анализирует различные подходы к категории "качество", которые сформировались за долгий промежуток времени, рассматривает некоторые проблемы, возникающие в сфере управления качеством. Как итог, формулируется авторская точка зрения на необходимость исследования рискообразующих факторов, выявления и регулирования рисков в управлении качеством.

Ключевые слова: качество, риск, рискообразующие факторы, регулирование рисков

О.А. Shunina

SOME ASPECTS OF THE NOMINATIONS OF QUALITY AND RISK

In the given article the author analyses the different approaches to class of "quality" which have been formed for a long period of time, considers the some problems which take place in quality management. The necessity to research, reveal and regulate risk factors in quality management forms as a result of the author's point of view.

Keywords: Quality, risk, risk-factors, regulation of risks

В настоящее время определение термина «качество продукции» можно найти в нескольких нормативных документах, например: в Законе «О защите прав потребителей», в терминологическом стандарте ГОСТ 18467-79, в ГОСТ 15467-79. Действующий ГОСТ 15467-79 дает следующее определение: «Качество продукции – сово-

купность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с её назначением» [1]. Однако именно господство понимания «качества» как «качества продукции» в течение многих лет и до сих пор оказывает отрицательное влияние на развитие предприятий и экономики в этом направлении.