

УДК 004.73

Кудр Латиф

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: multmediakar@mail.ru , multmediakar@gmail.com

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ

Данное исследование посвящено разработке симулятора беспроводной сенсорной сети. Симулятор разработан с использованием принципа мультиагентного моделирования. Для программной реализации были использованы: библиотека мультиагентного моделирования MASON и библиотека моделирования, анализа и визуализации данных представленных в виде графов JUNG. Проведены экспериментальные исследования, направленные на оценку работоспособности и адекватности работы симулятора беспроводных сенсорных сетей. Эксперименты проводились на сетях различного размера.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, мультиагентное моделирование, имитационная модель, MASON, JUNG.

Введение

Новейшие технологии беспроводной связи и прогресс в области производства микросхем позволили в течение последних нескольких лет перейти к практической разработке и внедрению нового класса распределенных коммуникационных систем — беспроводных сенсорных сетей (БСС).

Цель данной работы — создание симулятора беспроводной сенсорной сети, который даст возможность моделировать её работу в различных режимах, в том числе с использованием различных протоколов маршрутизации. Данный симулятор является основой инструментального средства анализа и оптимизации беспроводных сенсорных сетей. Одной из задач разрабатываемого симулятора является анализа влияния различных протоколов маршрутизации на загруженность отдельных узлов, участвующих в ретрансляции пакетов, источниками которых являются другие узлы сети. Необходимость разработки симулятора обусловлена тем, что выбор многих технических решений возникающий при проектировании информационных систем с БСС, невозможен только исходя из лабораторных исследований, проведенных на небольшой сети. Реальная информационные системы, например такие как системы мониторинга окружающей среды, состоят из большого количества узлов, которое невозможно воспроизвести в лабораторных условиях. Поэтому задача разработки симулятора БСС является актуальной.

В настоящее время существует несколько подходов и соответствующих инструментальных средств для имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей. Так, для разработки симулятора можно использовать пакет моделирования сетей ns-2/ns-3 [1]. Этот пакет является универсальной системой моделирования, сильной стороной которого является возможность реалистичного моделирования физического распространения сигналов, однако использование этой системы для моделирования БСС потребует написания расширений. Кроме этого ns-2/ns-3 позволяет моделировать только сеть, но не позволяет эмулировать работу программного обеспечения узлов. Этому недостатка лишен симулятор TOSSIM [2].

© Кудр Латиф, 2013

Он позволяет моделировать работу как отдельных узлов, так и больших сетей, состоящих из сотен и даже тысяч узлов; а также предоставляет разработчику возможность анализировать и тестировать код, который предназначен для реального оборудования. Для этого компилятор, входящий в состав TOSSIM, заменяет низкоуровневые компоненты приложения, которые взаимодействуют с аппаратными ресурсами узла, компонентами, взаимодействующими с программными реализациями этих устройств в симуляторе. Благодаря этому симулятор выполняет тот же код, что и узлы реальной сети. Однако этот симулятор имеет относительно низкую производительность и не пригоден для многократного моделирования больших сенсорных сетей, что является необходимым при разработке инструментальных средств оптимизации БСС. Поэтому наряду с применением этого симулятора [3] нами было принято решение разрабатывать более простой, но, в то же время, более быстрый и масштабируемый симулятор.

Выбор технологии моделирования

Так как в современных беспроводных сенсорных сетях каждый узел аппаратно и программно похож на остальные узлы сети, и, кроме этого, нет централизованного узла управления сетью, для моделирования работы всей сети достаточно описать и реализовать в модели типичный узел. Поэтому для реализации симулятора использовался принцип мультиагентного моделирования [4 — 6].

Агентное моделирование (agent-based model (ABM)) — метод имитационного моделирования, исследующий функционирование децентрализованных агентов и то, как работа отдельных агентов определяет работу всей системы в целом. В нашем случае такими децентрализованными агентами являются узлы БСС. В отличие от системной динамики, в данном подходе правила функционирования агентов определяется на индивидуальном уровне, а правила функционирования системы в целом возникают как результат совместной деятельности множества агентов. Другими словами применяется моделирование «снизу вверх».

В данной работе мультиагентный подход применяется для моделирования беспроводных сенсорных сетей.

Агентное моделирование используется для моделирования сложных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих подсистем. Это очень хорошо подходит для случая моделирования БСС с большим количеством узлов. Также агентное моделирование хорошо применимо в случае, когда слишком трудно или невозможно формализовать поведение системы на глобальном уровне. Так сложные распределенные системы, к которым относятся БСС невозможно формализовать на глобальном уровне. Применение имитационного подхода для моделирования распределенных систем является стандартной практикой. В рамках этого подхода, БСС рассматривается как совокупность взаимодействующих частей — агентов, каждый из которых действует самостоятельно по заранее определенным алгоритмам и может взаимодействовать с другими агентами. Таким образом, поведение всей системы складывается из взаимодействия ее частей. Изначально агентный подход был разработан для моделирования социальных процессов в человеческих сообществах. Сейчас он активно применяется в самых разных областях: от моделирования процессов фондовых бирж до предсказания распространения инфекционных заболеваний.

Агентное моделирование включает в себя элементы теории игр, сложных систем, мультиагентных систем и эволюционного программирования. В ней применяются методы Монте-Карло, используется теория вероятности и математическая статистика. Для применения принципа мультиагентного моделирования была разработана объектно-ориентированная модель беспроводной сенсорной сети.

Объектно-ориентированная модель БСС

При разработке симулятора был применен объектно-ориентированный подход. Выделены типовые компоненты БСС для которых разработаны классы.

В симуляторе реализованы модели узла БСС и базовой станции, а также разработана среда их взаимодействия. Каждое устройство представлено отдельным классом со своим набором свойств, определяющих состояние и набором методов определяющих их поведение. Среда взаимодействия представляет собой класс, содержащий параметры, которые не могут быть описаны в каждом из устройств. Эти параметры определяют работу сети на более высоком уровне. Такими параметрами, например, являются количество узлов и протоколы передачи данных. Классы типовых компонентов БСС представлены на рисунке 1.

Каждый узел БСС взаимодействует с моделью исследуемого явления и моделью канала. В модели исследуемого явления описываются законы изменения параметров окружающей среды, соответствующих этому явлению. Например, законы изменения температуры или уровня химического загрязнения.

При проектировании симулятора одним из основных требований было обеспечение его расширяемости. Например, расширение модели канала передачи данных для учета помех, или особенностей распространения сигнала на физическом уровне может быть произведено заменой соответствующего класса без изменения остальных компонентов модели. Разрабатываемый симулятор изначально проектировался расширяемым, что достигается за счет использования объектно-ориентированного подхода.



Рисунок 1 – Диаграмма классов объектной модели БСС

Данная модель позволяет описывать процессы, протекающие в БСС. Рассмотрим, например процесс формирования дерева ретрансляций протокола СТР, который применяется во многих реализациях БСС под управлением операционной системы TinyOS [7].

Каждый узел в СТР содержит таблицу соседей, в которой хранится ID узла и его стоимость передачи. В качестве метрики для стоимости передачи используется значение ETX (Expected Transmissions – ожидаемое количество передач).

Беспроводные сенсорные сети под управление данного протокола образуют древовидную структуру, в которой шлюзы являются корнями, а сенсорные узлы – листьями. Для генерации маршрутов узлы используют градиент маршрутизации - ETX. Корень имеет значение ETX равное 0. ETX узла рассчитывается как сумма ETX его родительского узла и ETX связи с ним. При выборе родительского узла предпочтение отдается тому, где значение ETX меньше.

Принципы выбора ретранслирующего узла в СТР можно описать следующими пунктами:

- каждый узел независимо определяет минимальную суммарную стоимость передачи;
- каждый узел периодически рассылает рассчитанную им минимальную суммарную стоимость своим соседним узлам;
- получая минимальную общую стоимость от соседних узлов, узел обновляет информацию о своей минимальной стоимости, если обнаруживается лучший путь и рассылает это новое значение соседям.

На этапе инициализации каждый узел устанавливает значение «неопределенное» для своей суммарной стоимости передачи к базовому узлу ЕТХ. Базовый узел устанавливает свое ЕТХ в 0. Когда соседи получают сообщение от базового узла, они обновляют свои стоимости передачи. Узлы, обновившие свое значение распространяют эту информацию дальше по сети. Шаг за шагом каждый узел определяет минимальное расстояние к базовому узлу. На рисунке 2 изображена диаграмма последовательности процесса инициализации. На рисунке 3 изображены граф сети и конечный вид дерева маршрутизации

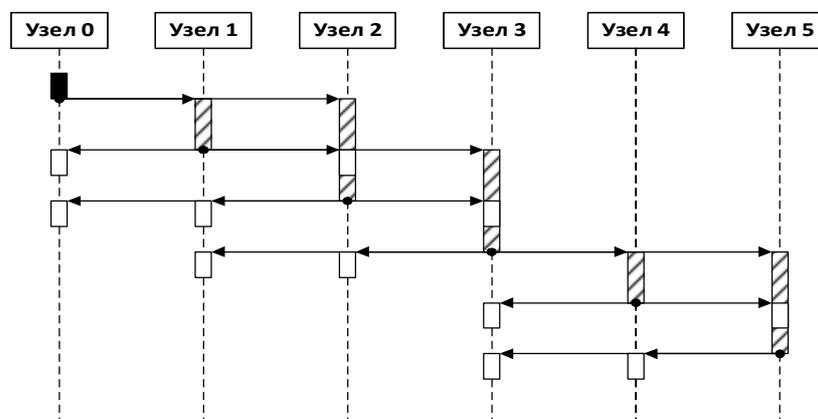


Рисунок 2 – Диаграмма последовательности процесса формирования дерева ретрансляции

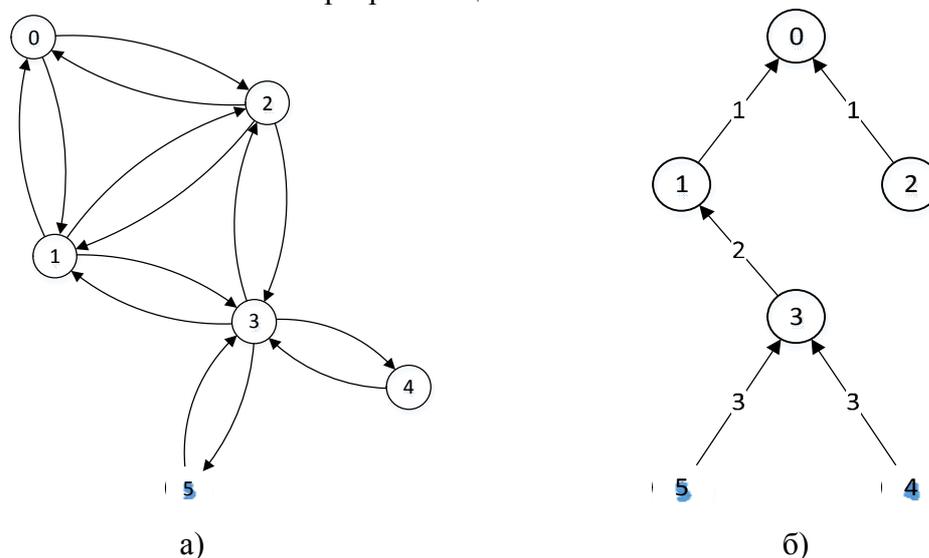


Рисунок 3 – Формирование дерева маршрутизации:
а) граф сети; б) сформированное дерево маршрутизации

Программная реализация симулятора

Программная реализация симулятора состоит из ядра и визуализатора.

При реализации ядра использовалась распространенная открытая Java библиотека для мультиагентной симуляции MASON. Эта библиотека разработана нашими коллегами из университета Джорджа Мейсона (США) <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>.

MASON это инструментальное средство мультиагентного моделирования, предназначенное для симуляции систем, описываемых большим количеством агентов. Эта система не имеет предметно-ориентированных функций, она принадлежит к классу симуляторов независимых от предметной области, таких как Repast, Ascape, StarLogo, NetLogo, и SWARM [6].

Отличительной особенностью MASON является то, что оно предназначено для задач, которые включают в себя большое множество сравнительно простых агентов, выполняющих свои задачи. Часто оно используется в таких областях как моделирование транспортных потоков, популяционная генетика, моделирование социальных процессов, искусственный интеллект, в частности роевой интеллект.

Большинство подобных инструментальных средств узкоспециализированы и были разработаны для решения относительно небольших задач. MASON в отличие от них предназначен для задач, связанных с большим количеством агентов и требующих множества прогонов модели, с возможностью использования клиент-серверной архитектуры, где в качестве сервера может выступать распределенная система либо суперкомпьютер. В нем реализованы целый ряд функций, которые делают это возможным: модели полностью отделены от визуализатора, значит есть можно запускать модели либо совсем без визуализатора, либо с использованием визуализаторов различных типов с возможностью переключения между ними;

- модели сериализуемы, значит в любой момент есть возможность сохранить текущее состояние модели и, в дальнейшем, возобновить моделирование с точки останова, при этом модель можно перенести при необходимости на другую машину;
- модели независимы от платформы – благодаря Java модели можно запускать на машинах с различной архитектурой и с различными операционными системами;
- модели полностью инкапсулированы – это значит, что есть возможность запуска нескольких моделей на одной машине, при этом они будут выполняться независимо друг от друга.

При разработке визуализатора использовался фреймворк JUNG (Java Universal Network/Graph Framework), представляющий собой программную библиотеку для моделирования, анализа и визуализации данных, представленных в виде графов. Он написан на языке программирования Java, что позволяет JUNG-приложениям использовать встроенные возможности Java API, а также другие подключаемые библиотеки Java. Сама архитектура JUNG разработана для поддержки представлений различных сущностей и их отношений, таких как ориентированные и неориентированные графы, мультиграфы, графы с параллельными ребрами и гиперграфы. Структура БСС в нашем случае представляет собой ориентированный граф.

В настоящее время дистрибутив JUNG включает в себя реализацию ряда алгоритмов из теории графов, data mining и анализа социальных сетей, а именно: алгоритмы кластеризации, декомпозиции, оптимизации, генерации случайных графов, статистического анализа и расчета расстояний между узлами графа, поиска максимального потока и т.д.

JUNG включает в себя графическую систему визуализации, что позволяет легко создавать интерактивные приложения по работе с сетевыми данными. Мы использовали этот фреймворк для визуализации БСС на основе информации об уровне радиосигнала принимаемого узлом от соседних узлов. При этом использовались алгоритмы расположения вершин графа, реализованные в JUNG.

В итоге JUNG обеспечил нам общую основу для написания визуализатора беспроводной сенсорной сети.

Симулятор был разработан на языке программирования Java в среде Eclipse 4.2 с использованием рассмотренных выше библиотек.

Экспериментальные исследования разработанного симулятора

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны две сети. Первая сеть небольшая – она насчитывает 6 узлов. Эта сеть выбрана для целей отладки. Вторая сеть насчитывает более 200 узлов. Эта сеть моделировалась для проверки работоспособности разработанных средств на масштабных системах.

На рисунках 4 и 5 изображена визуализация моделируемых беспроводных сенсорных сетей. В данном случае применен алгоритм раскладки графов Kamada-Kawai [8].

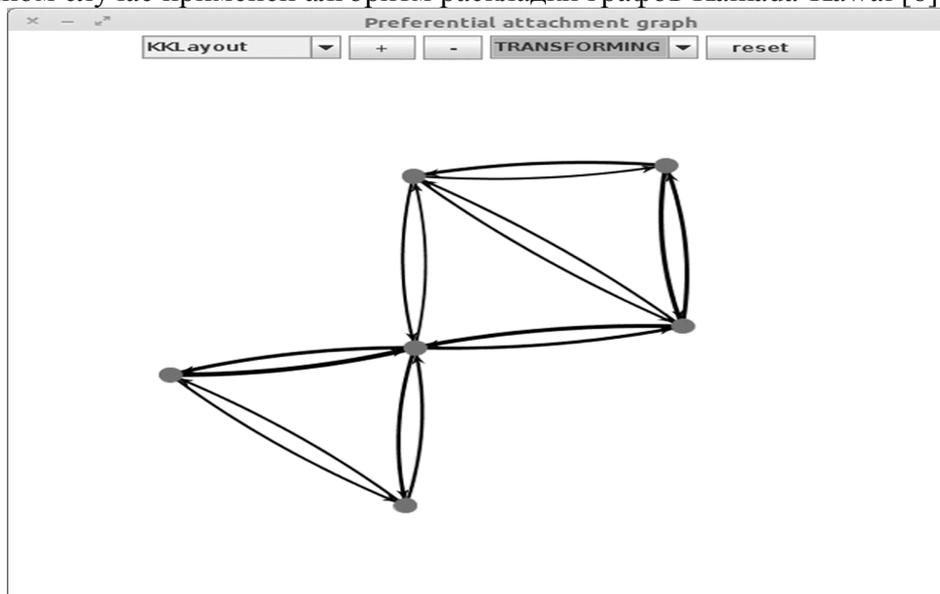


Рисунок 4 – Симуляция беспроводной сенсорной сети из шести узлов

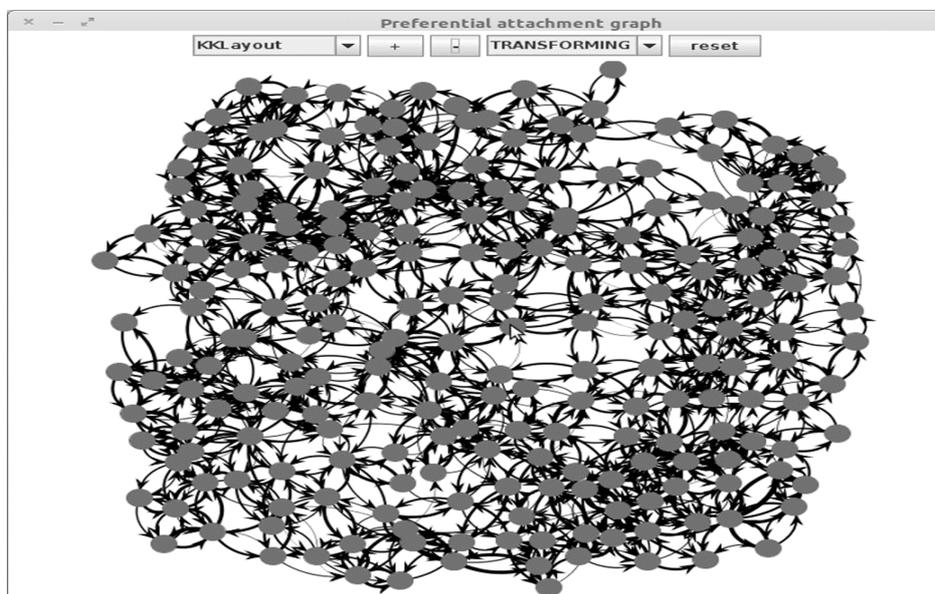


Рисунок 5 – Симуляция беспроводной сенсорной сети из 225 узлов

Визуализация сетей насчитывающих большее количество узлов затруднена, Однако моделировать большие сети с помощью разработанного программного обеспечения можно.

Разработанный симулятор позволил нам провести моделирование достаточно большой беспроводной сенсорной сети.

Заключение

В данной работе был создан и исследован симулятор беспроводной сенсорной сети на базе принципа мультиагентного моделирования. В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

- 1) проанализировано текущее состояние в области моделирования беспроводных сенсорных сетей;
 - 2) разработана объектно-ориентированная модель БСС;
 - 3) на базе объектно-ориентированной модели БСС разработана программная реализация симулятора с использованием принципа мультиагентного моделирования;
 - 4) проведены экспериментальные исследования разработанного симулятора.
- Анализ результатов экспериментальных исследований показывает следующее.

1. Разработанный симулятор может применяться для моделирования БСС на этапе их проектирования.
2. Симулятор позволяет моделировать достаточно большие сети, насчитывающие сотни узлов.
3. Визуализация сетей применима только для относительно небольших сетей, однако она позволяет наглядно изучить детали функционирования выбранных протоколов передачи данных.

Список использованной литературы

1. Lacage M. Yet another network simulator / M. Lacage, T.R. Henderson // Proceeding from the 2006 workshop on ns-2: the IP network simulator, ACM, 2006.
2. Simulating TinyOS Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cs.berkeley.edu/~pal/research/tossim.html>. - [проверено 1.10.2012]. - Загл. с экрана.
3. Телятников А.О. Моделирование беспроводных сенсорных сетей / А.О. Телятников, Кудр Латиф // Проблемы информационных технологий. - 2009. - No.2 (006). – С. 106-113.
4. Tomas S. Design of Agent-Based Models / Salamon Tomas // Publisher TOMAS BRUCKNER. – 2011.
5. Leyton-Brown Sh. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations / Shoham, Yoav, and Kevin Leyton-Brown. – Cambridge University Press, 2009.
6. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>. - [проверено 1.10.2012]. - Загл. с экрана.
7. Akkaya K. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks / K. Akkaya, M. Younis // Ad Hoc Networks. – 2005. - № 3. – P. 325-349.
8. Kamada T. An algorithm for drawing general undirected graphs / T. Kamada, S. Kawai // Information Processing Letters. – 1989. - Vol. 31. – P. 7-15.

Надійшла до редакції:
30.04.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

Кудр Латиф

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Розробка симулятора бездротової сенсорної мережі. Дане дослідження присвячене розробці симулятора бездротової сенсорної мережі. Симулятор розроблений з використанням принципу мультиагентного моделювання. Для програмної реалізації

були використані: бібліотека мультиагентного моделювання MASON і бібліотека моделювання, аналізу та візуалізації даних представлених у вигляді графів JUNG. Проведено експериментальні дослідження, спрямовані на оцінку працездатності та адекватності роботи симулятора. Експерименти проводилися на мережах різного розміру.

Ключові слова: бездротових сенсорних мереж, многоагентних моделювання, імітаційна модель, MASON, JUNG.

Lateef Quadr

Donetsk National Technical University

Development of Wireless Sensor Network Simulator. This research focuses on the development of wireless sensor network simulator. The simulator is designed using multi-agent model approach. For the software implementation the multi-agent simulation library MASON and the graph modeling, analysis and visualization library JUNG are used. The experimental research of simulator directed at the efficiency and precision estimation were carried out. The experiments were performed on networks of various sizes. The latest wireless technology and progress in chip manufacturing in the past few years allowed to move to the practical development and implementation of a new class of distributed communication systems - wireless sensor networks (WSN).

The aim of this work is the creation of a wireless sensor network simulator, which makes it possible to simulate its operation in different modes, including using various routing protocols. This simulator is considered as the basis tool for analysis and optimization of wireless sensor networks. One of the objectives of the developed simulator is to analyze the impact of different routing protocols on the separate/overload nodes, involved in retransmission packets, sourced from other network nodes. The need to develop a simulator is due to the fact that the choice of many technical solutions arising in the design of information systems with the WSN can not be only based on laboratory tests conducted on a small network. Real information systems, such as environmental monitoring system, consist of a large number of nodes, which is impossible to reproduce in the laboratory. Therefore, the task of developing simulator WSN is relevant.

Currently, there are several approaches and appropriate tools for simulation of wireless sensor networks. So, for the development of simulator, you can use the package modeling networks ns-2/ns-3. This package is a general-purpose simulation system, strength of which is the possibility of a realistic simulation of the physical propagation of signals. However, the use of this system for simulation WSN requires writing extensions. Other than that ns-2/ns-3 allows only to simulate network, but can not stimulate the work of software nodes. Simulator TOSSIM is deprived of this deficiency. It allows to simulate the work as separate nodes, and large networks, consisting of hundreds or even thousands of nodes; and gives the developer the ability to analyze and test the code, which is designed for the real hardware. The compiler, included in TOSSIM, replaces the low-level application components that interact with hardware resources of the node with the components interacting with the implementations of these devices in the simulator. With this the simulator executes the same code as the real network nodes. However, the simulator has a relatively low productivity and is not suitable for multiple simulation of large sensor networks, which is essential in the development of tools to optimize WSN. Therefore, along with the use of this simulator, we decided to develop a simpler, but at the same time, more rapid and scalable simulator.

Keywords: wireless sensor networks, multi-agent simulation, simulation model, MASON, JUNG.