

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯТОРА СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ДЕТАЛЬНЫМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ В СРЕДЕ ANYLOGIC**В. Г. Гавриленко, А. Ю. Ельцов, А. В. Конюченко, Ф. В. Макаров, А. Н. Садков
(Нижний Новгород)**

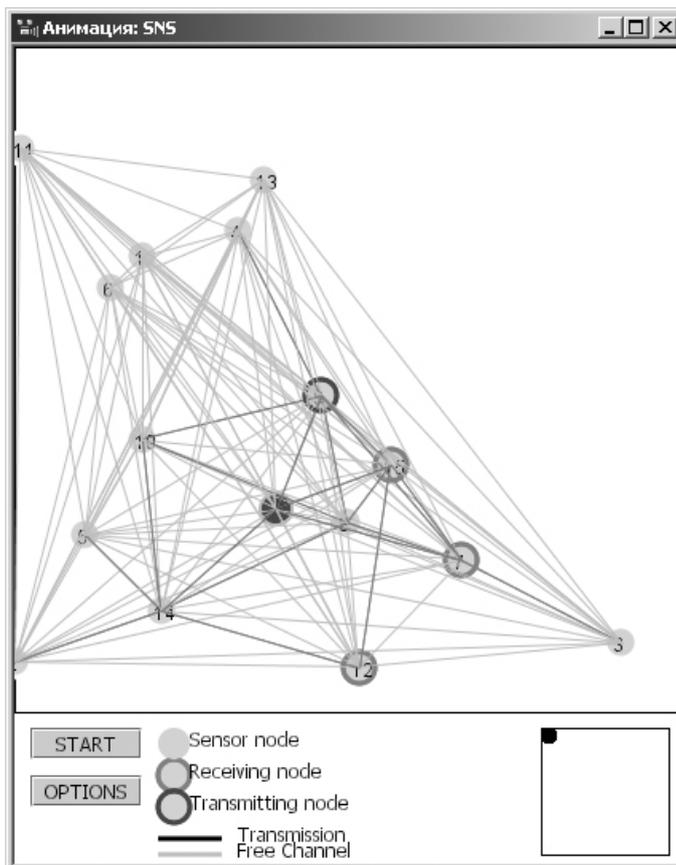
Сенсорные сети – одно из самых перспективных направлений развития беспроводных коммуникационных технологий [1]. Узлами таких сетей являются миниатюрные устройства. Благодаря низкому энергопотреблению, узлы могут работать от одного источника питания в течение нескольких месяцев или даже лет. Простота аппаратной части узлов позволяет добиться очень низкой стоимости одного устройства, что делает возможным создание сетей, состоящих из десятков тысяч элементов. Описанные выше свойства делают сенсорные сети эффективным средством для сбора данных с обширных территорий в течение длительных промежутков времени. Сферы применения сенсорных сетей весьма многочисленны: исследование состояния окружающей среды, отслеживание сейсмической активности, проектирование «умных» дорог и систем безопасности.

Для повышения эффективности работы по проектированию сенсорных сетей важно иметь априорные данные о поведении сети. Экспериментальный подбор архитектуры реальных сенсорных сетей является сложным и финансово невыгодным. Компьютерное моделирование – один из наиболее эффективных путей изучения сенсорных сетей, который дает возможность получать достоверные результаты по поведению сенсорных сетей без значительных финансовых затрат.

Цель данной работы – создание симулятора сенсорных сетей (SNS), который давал бы возможность моделировать поведение сети с использованием различных протоколов и учетом условий окружающей среды. Отличительной особенностью разрабатываемой системы моделирования является возможность анализа влияния условий распространения радиоволн в реальных рельефах на качество связи между узлами сети.

Каждый узел сенсорной сети аппаратно ничем не отличается от других. Поэтому для описания работы сети достаточно подробного описания типичного узла и алгоритмов взаимодействия. В симуляторе работа сенсорной сети реализуется с использованием принципов агентного моделирования.

Агентные модели позволяют получить представление об общем поведении системы, исходя из предположений о поведении ее эле-

**Рис. 1. Вид симулятора в среде моделирования**

ментов [2]. Разработка ведется в среде моделирования AnyLogic (рис.1). AnyLogic является инструментом моделирования, позволяющим быстро создавать гибкие модели на основе агентов, взаимодействующих как друг с другом, так и со своим окружением. AnyLogic поддерживает все возможные способы задания поведения агентов – диаграммы состояний (стейтчарты), синхронное и асинхронное планирование событий [2].

В симуляторе реализованы типичный узел и базовая станция, а также разработана среда их взаимодействия. Каждое устройство выделено в отдельный класс со своими описывающими протоколы подклассами, в которых в виде диаграмм состояний, алгоритмических и математических функций задается его 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 размеры сенсорного поля.

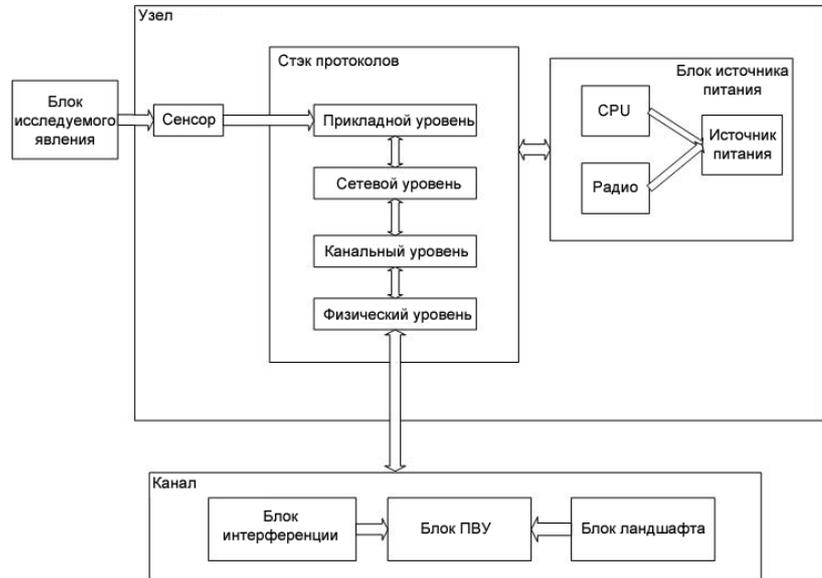


Рис. 2. Схема взаимодействия моделей

На рис. 2 представлена схема взаимодействия моделей (блоков) симулятора.

Узел взаимодействует с моделью исследуемого явления и моделью канала.

В блоке исследуемого явления описываются законы изменения параметров окружающей среды, соответствующих этому явлению. Например, законы изменения температуры или уровня химического загрязнения.

Важным параметром сенсорной сети является её энергопотребление. В зависимости от уровня заряда батареи узлом могут быть предприняты различные меры для снижения энергопотребления, например, уменьшение мощности, выделяемой передатчику или прекращение участия в маршрутизации сообщений в сети [3].

Для управления энергопотреблением разработана модель источника питания. В ней реализованы подклассы, описывающие затраты на выполнение той или иной операции с использованием различных периферийных устройств узла.

Для каждого из типичных узлов смоделированы прикладной, сетевой, канальный и физический уровни.

Прикладной уровень взаимодействует с сенсором и сетевым уровнем, обрабатывая информацию об окружающей среде или полученные от других узлов сообщения.

На сетевом уровне реализован протокол AHODR [4]. Он выполнен в виде отдельного класса, в котором полностью описывается поведение узла при выборе пользователем этого алгоритма.

На канальном уровне описан алгоритм доступа к каналу CSMA/CA.

Впоследствии на канальном и сетевом уровнях будут реализованы прочие часто используемые в сенсорных сетях алгоритмы, такие, как LEACH [5], SMACS[6], TDMA/FDMA, TORA [7] и другие.

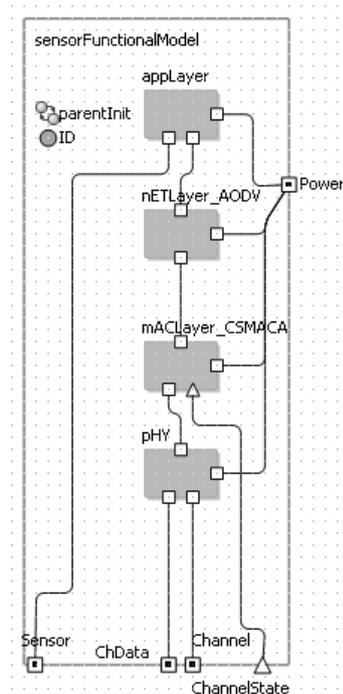


Рис. 3. Стек протоколов сенсорного узла

Из-за большого разнообразия протоколов для сенсорных сетей может возникнуть необходимость в тестировании алгоритмов, не включенных изначально в симулятор. Поэтому важно, чтобы система моделирования могла бы быть впоследствии легко дополнена различными компонентами. В SNS для введения нового протокола достаточно реализовать класс, моделирующий исследуемый алгоритм и задействовать его в стеке протоколов узла. При этом необходимо следовать лишь нескольким простым правилам, специфицирующим интерфейс уровня. (рис. 3).

В симуляторе детально разработаны блоки, входящие в модель канала: блок ландшафта (рис. 4), блок параболического волнового уравнения (ПВУ) и блок интерференции. Эти блоки выполнены в виде отдельных библиотек, подключенных к основной программе. SNS предусматривает моделирование распространения радиоволн и учет наличия помех в канале. Такой подход позволяет достичь более точной, по сравнению с аналогичными программными продуктами, картины работы сенсорной сети, что может быть подтверждено сведениями, полученными в результате проведения экспери-

ментов с помощью симулятора.

Нами было проведено исследование связанности сети в зависимости от модели радиоканала. Связанность является одной из важнейших характеристик сенсорной сети и определяется по формуле

$$\eta = \frac{N_c}{N},$$

где N_c – количество узлов, имеющих связь с базовой станцией; N – общее число узлов.

Было использовано четыре различных модели радиоканала: модель распространения радиоволн в свободном пространстве, модель распространения радиоволн над плоской идеальноотражающей поверхностью, модель распространения радиоволн над неровной поверхностью с учетом затенений и модель распространения радиоволн над неровной поверхностью с учетом дифракции. Для этих моделей были проведены эксперименты по определению связанности сети. При каждом новом эксперименте сенсоры были расположены с однородной средней плотностью распределения на выбранной фиксированной площади. Кроме того, при использовании третьей и четвертой моделей радиоканала был случайным образом задан плавный профиль земной поверхности. Затем были вычислены потери при передаче информации между различными парами

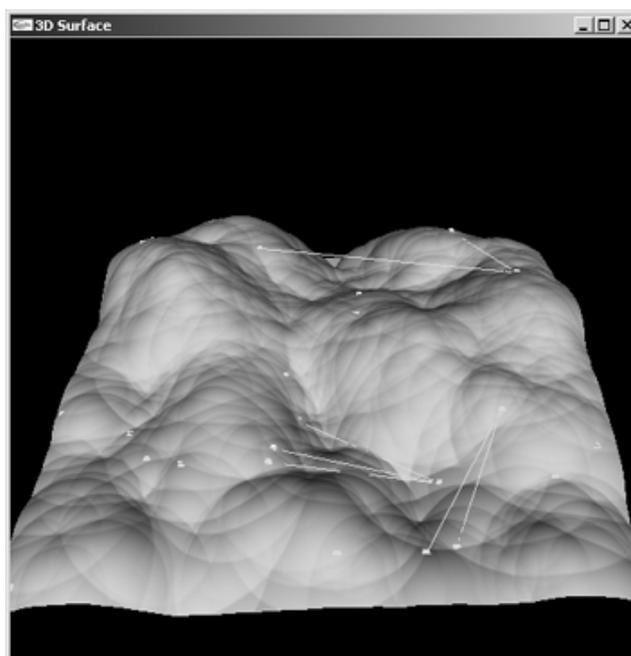


Рис. 4. Модель ландшафта

узлов. После сравнения энергии сигнала в каждом канале с порогом устойчивой связи выяснено, какие из узлов могли обмениваться данными между собой и с базовой станцией. Результаты расчета связанности сети в зависимости от общего числа узлов представлены в виде графиков на рис. 5. Каждая кривая соответствует одной из моделей радиоканала. Значение связанности при выбранном числе N вычисляется в каждом случае при случайном распределении узлов по площади, а для последних двух моделей учитывается еще и выбранный рельеф подстилающей поверхности. По этой причине кривые имеют нерегулярный вид. Однако из вида этих кривых можно сделать достаточно определенные выводы. В частности, видно, что модель свободного пространства дает сильно завышенное значение связанности по сравнению с моделью, учитывающей дифракцию волн на неровностях поверхности. При учете идеально отражающей плоской подстилающей поверхности уменьшается максимально возможное для передачи данных расстояние. В соответствии с этим связанность становится меньше, но все же превосходит значения, полученные для неровной поверхности методом ПВУ. Третья модель, в которой учитываются только затенения, также оказывается довольно грубой. При ее использовании, как и ожидалось, получаются заниженные значения связанности, т.к. оказывается неучтенной возможность связи с пунктом назначения в области тени за счет дифракции.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что выбор модели радиоканала существенно влияет на работу симулятора сенсорной сети и что сведения, полученные при использовании метода ПВУ, являются наиболее близкими к реальности. Итак, симулятор предоставляет точные сведения о работе сенсорной сети, а такая ключевая особенность, как учет свойств окружающей среды, делает SNS уникальным инструментом для получения достоверных результатов по поведению сенсорных сетей в реальных территориальных и атмосферных условиях.

Литература

1. **Callaway Edgar H.** Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols. CRC Press, 2004. – 350 p.
2. XJ Technologies//Учебное пособие по агентному моделированию. – 2004.
3. **Akyildiz Ian F., Su Weilian, Sankarasubramaniam Yogesh, Cayirci Erdal**//Survey On Sensor Networks, IEEE Communications Magazine. – 2002. –August.
4. **Perkins C. E., Royer E. M.**//Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing.
5. **Heinzelman W. R., Chandrakasan A., and Balakrishnan H.** Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks//Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. – 2000.
6. **Ouyang Zhi-Wen, Krishnan S. B., Kim S. S.** Medium Access Control for Wireless Sensor Networks.
7. **Dobbelaere J.** Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA), System Working Group Fall. – 2001.

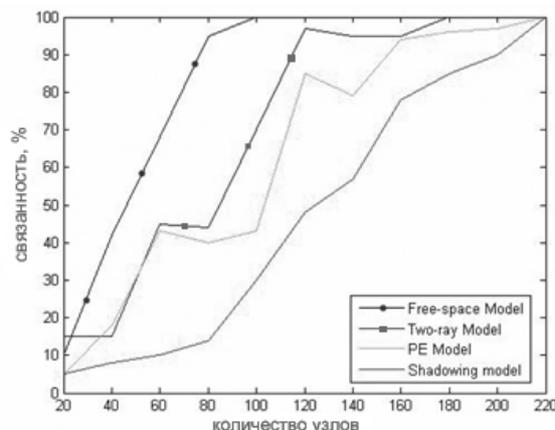


Рис. 5. Связанность