

М. А. КИСЛЯКОВ, С. Г. МОСИН, В. В. САВЕНКОВА

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрены теоретические вопросы проектирования беспроводных сенсорных сетей. Описаны отдельные этапы проектирования. Сети классифицированы по типу топологической структуры.

*Ключевые слова:* беспроводная сенсорная сеть, маршрут проектирования, статическая топология.

Использование беспроводных сенсорных сетей (БСС) является одним из наиболее активно развивающихся методов сбора и передачи данных. Прогресс в этом направлении в основном связан с расширением сферы применения таких сетей. Таким образом, вопрос унификации процесса проектирования БСС становится все более актуальным.

Сенсорные сети уже частично заняли свой сегмент рынка, большое количество компаний предлагают свои решения в области беспроводного мониторинга. Существующие аппаратно-программные комплексы БСС в основном предназначены для решения узкоспециализированных задач, что затрудняет процесс адаптации систем к изменяющимся условиям. Более того, даже при необходимости внесения небольших модификаций требуется пройти все этапы проектирования заново.

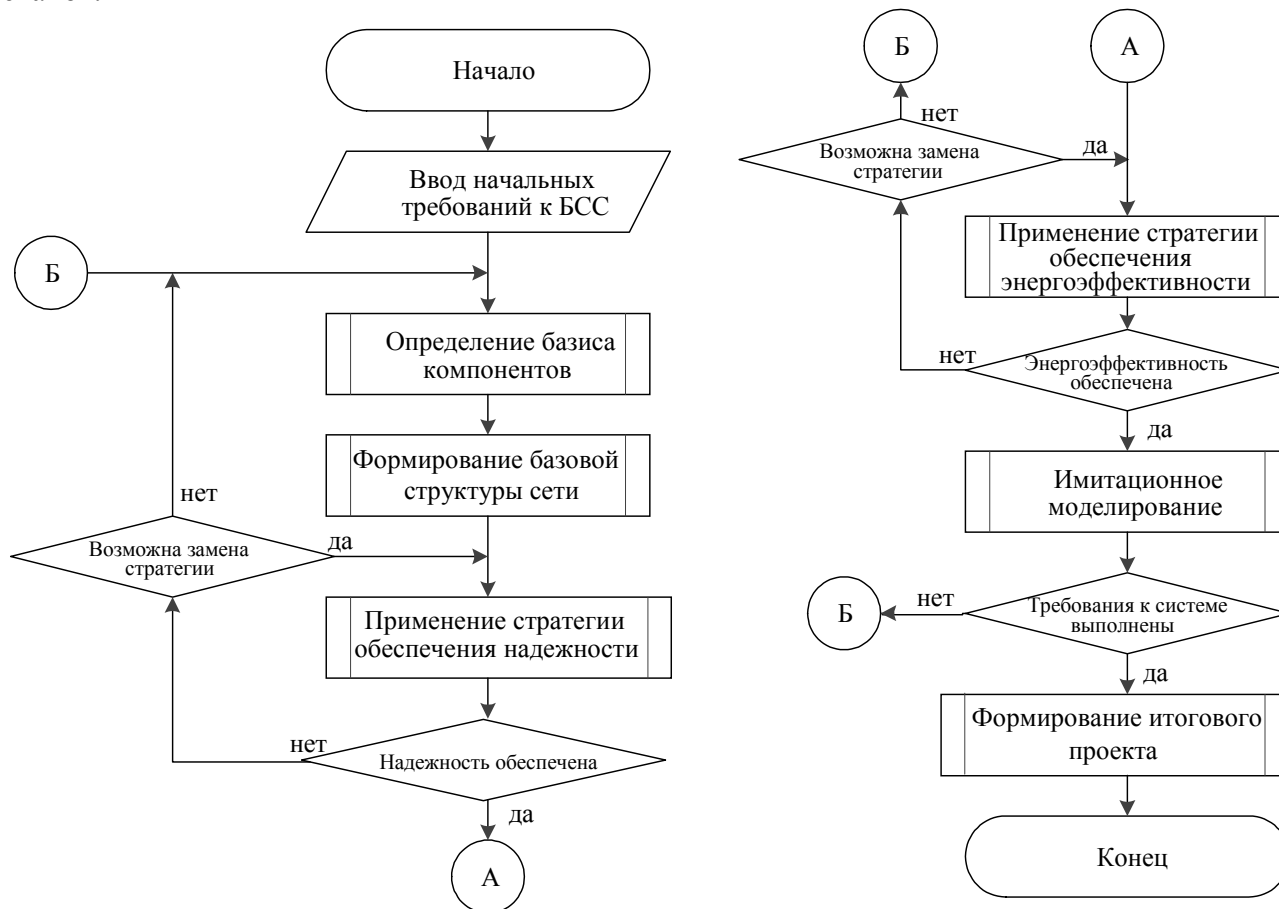
На данный момент унифицированных средств проектирования БСС не существует. Каждая компания использует собственные, закрытые для анализа характеристики разработки. По этой причине решения, ориентированные на выполнение одной конкретной задачи, не могут быть использованы в другой предметной области.

Беспроводная сенсорная сеть — это распределенная, самоорганизующаяся совокупность множества датчиков и исполнительных устройств, объединенных посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет ретрансляции сообщений от одного элемента к другому [1, 2].

Авторы работы [3] выделяют общие свойства сенсорных сетей, такие как ограниченное время функционирования узлов вследствие наличия автономного источника питания на каждом из них, ненадежная связь между узлами, поскольку радиоканал используется в качестве среды передачи, необходимость в самоорганизации — автоматической либо с минимальным участием человека.

Процесс проектирования сенсорной сети во многом зависит от ее целевой задачи. Однако разработка отдельных маршрутов для каждой задачи трудоемка и нецелесообразна.

В качестве классификационного признака может выступать тип топологической структуры, в соответствии с которым различают статические, слабодинамические и динамические системы [4]. В настоящей работе представлен процесс проектирования БСС со статической топологией узлов (см. рисунок). На основе блок-схемы рисунка можно выделить ряд основных этапов.



*Ввод начальных требований к БСС, устанавливаемых на основе анализа целевой задачи.* К списку требований следует относить такие параметры, как: жизненный цикл сети, зона покрытия, степень актуальности информации, скорость передачи данных и уровень надежности сети. Формализация ввода представленных параметров может иметь различную степень детализации, что определяет точность исходных данных. Формальное описание действий на этапе ввода начальных требований можно представить следующей формулой:

$$\mathbf{Q} = f(\mathbf{X}), \quad (1)$$

где  $\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_n\}$  — вектор начальных требований,  $\mathbf{Q} = \{q_1, \dots, q_n\}$  — вектор формализованных требований,  $f(x)$  — функция формализации,  $n$  — количество требований.

*Определение элементного базиса.* Стремительное развитие технологии БСС в основном связано с теми достижениями в микроэлектронике, которые обеспечили формирование аппаратного базиса с должным уровнем технических характеристик. К числу основных параметров, анализируемых и используемых разработчиками в процессе проектирования сенсорных сетей, следует отнести: частотный диапазон; скорость передачи данных и дальность действия, чувствительность и выходную мощность сигнала, напряжение питания и токи потребления в режимах приема, передачи и сна. Этап определения элементного базиса предназначен для выбора подмножества электронных устройств, достаточных для построения проектируемой сети.

Пусть  $S = \{s_1, \dots, s_k\}$  — множество доступных электронных устройств. Тогда функцию определения элементного базиса можно представить в виде выражения

$$L = f(\mathbf{Q}, S), \quad (2)$$

где  $L \subset S$  — подмножество доступных компонентов, выбранных системой или разработчиком на основе анализа вектора формализованных требований  $\mathbf{Q}$ ,  $f(x)$  — функция выбора подмножества элементов.

*Формирование базовой структуры сети.* Базовая структура определяет минимальный набор элементов сети, необходимых для выполнения целевой задачи. Основное требование к такой структуре — обеспечение связности топологии. На данной стадии решаются две подзадачи: сегментация сенсорной сети и построение связей между сегментами и основным шлюзом. Результат выполнения этапа формирования базовой структуры — построение многокластерной топологии сети с выделением узлов-координаторов в каждом из сегментов и расположение транзитных узлов для обеспечения связи с основным шлюзом. Функцию формирования базовой структуры можно выразить формулой:

$$(\mathbf{R}, T) = f(\mathbf{Q}, L), \quad (3)$$

где  $\mathbf{R}$  — вектор связей между узлами сети,  $T$  — множество транзитных узлов, добавленных в сеть для обеспечения связей между кластерами,  $f(x)$  — функция формирования базовой структуры.

*Применение стратегии обеспечения надежности.* Одна из основных характеристик сенсорной сети — степень ее надежности [5]. В данном контексте термины *надежность* и *отказоустойчивость* являются синонимами. Надежность определяет вероятность сбоя в работе системы при воздействии внешних факторов. Основным методом изменения надежности сети является перестроение ее топологической структуры. Очевидно, что сбои связаны с нарушением маршрутов следования информации от источника к приемнику. Такие нарушения возможны, например, при выходе из строя одного из транзитных узлов. Следовательно, увеличение количества возможных маршрутов передачи информации линейно повышает надежность системы в целом. Тем самым функцию обеспечения надежности можно представить следующими выражениями:

$$(\mathbf{R}', T') = f(\mathbf{R}, T, L), \quad (4)$$

где  $\mathbf{R}'$  — вектор связей между узлами, дополненный новыми маршрутами,  $T'$  — множество транзитных узлов с учетом добавленных на данной стадии,  $f(x)$  — функция добавления новых маршрутов;

$$y_r = g(\mathbf{R}', T', \mathbf{Q}), \quad (5)$$

где  $y_r \in \{0, 1\}$  — результат проверки надежности сети,  $g(x)$  — функция проверки на надежность.

*Применение стратегии обеспечения энергоэффективности.* Задача обеспечения энергоэффективности сводится к повышению общего времени работы всей сети в целом. Решить такую задачу возможно, правильно разместив транзитные узлы, что позволит равномерно распределить нагрузку по всей сети и тем самым обеспечить минимальную дисперсию показателей среднего энергопотребления устройств. Второй способ достижения эффективного энергопотребления — настройка оптимального режима доступа к среде. Каждый из функциональных и транзитных узлов может находиться в одном из четырех режимов: передача, прием, вычисления и сон [6]. Минимизация временных интервалов, используемых режимами

с максимальным потреблением энергии, позволит увеличить общее время жизни сети. Функцию обеспечения энергоэффективности можно записать следующим образом:

$$(\mathbf{R}'', T'') = f(\mathbf{R}', T', L), \quad (6)$$

где  $\mathbf{R}''$  — вектор связей между узлами, дополненный новыми маршрутами,  $T''$  — множество транзитных узлов с учетом измененных и добавленных на этом этапе,  $f(x)$  — функция перераспределения транзитных узлов с целью обеспечения энергетической эффективности,

$$y_e = g(\mathbf{R}'', T'', \mathbf{Q}), \quad (7)$$

$y_e \in \{0, 1\}$  — результат проверки энергоэффективности сети,  $g(x)$  — функция проверки на энергоэффективность.

*Имитационное моделирование.* На этом этапе осуществляется поведенческое моделирование спроектированной сенсорной сети. В процессе моделирования вычисляется ряд характеристик системы, которые являются основой для проведения многокритериального анализа. Если вычисленные характеристики соответствуют критериям, полученным на этапе ввода и анализа начальных требований, то инициируется переход к стадии генерации итогового проекта. В противном случае вносятся уточнения в проект, и этапы выполняются заново:

$$\mathbf{P} = f(\mathbf{R}'', T''), \quad (8)$$

где  $\mathbf{P}$  — вектор выходных параметров спроектированной сети,  $f(x)$  — функция расчета выходных параметров. Далее получим результат проведения многокритериального анализа по всему вектору  $\mathbf{Q}$

$$y_c = g(\mathbf{P}, \mathbf{Q}), \quad (9)$$

где  $y_c \in \{0, 1\}$ ,  $g(x)$  — функция многокритериального анализа.

*Итоговое формирование проекта* под конкретный аппаратный базис — завершающий этап маршрута. Реализация данного этапа представляет собой использование вектора выходных параметров  $\mathbf{P}$  для настройки проекта. Результат процесса проектирования может быть представлен в виде скомпилированного конфигурационного файла, однозначно соответствующего выбранному аппаратному базису.

Совокупность этапов — маршрут проектирования — является основой для построения системы автоматизированного проектирования БСС. Такая САПР обеспечит унификацию средств и подхода к проектированию БСС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramanian Y., Cayirci E. Wireless Sensor Network: a Survey // Computer Networks J. 2002. Vol. 38. P. 393—422.
2. Chong Chee-Yee, Kumar S. P. Sensor Networks Evolution, Opportunities, and Challenges // Proc. IEEE. 2003. Vol. 91. N 8.
3. Perillo M. A., Heinzelman W. B. Wireless Sensor Network Protocols // Handbook of Algorithms for Wireless Networking and Mobile Computing. 2005. P. 813—842.
4. Кисляков М. А., Савенкова В. В. Классификация беспроводных сенсорных сетей по типу топологической структуры // 50-я Междунар. науч. студ. конф. „Студент и научно-технический прогресс“. 2012.
5. Мочалов В. А. Разработка и исследование алгоритмов построения отказоустойчивых сенсорных сетей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2011.
6. Мочалов В. А., Турута Е. Н. Интеллектуальная САПР сенсорных сетей // Матер. конф. „Интеллектуальные САПР“. 2009.

*Сведения об авторах*

- Максим Андреевич Кисляков** — Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; младший научный сотрудник; E-mail: kislyakov.maxim@gmail.com
- Сергей Геннадьевич Мосин** — канд. техн. наук, доцент; Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; E-mail: smosin@vlsu.ru
- Вероника Вячеславовна Савенкова** — Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, кафедра вычислительной техники; инженер; E-mail: savenkova.nika@gmail.com

Рекомендована ВлГУ

Поступила в редакцию  
17.04.12 г.