

УДК 004.735

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ, РАЗВЕРТЫВАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ОГРАНИЧЕННЫМ ИЛИ ОТСУТСТВУЮЩИМ ДОСТУПОМ В МАКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ С УМЕРЕННЫМ И ХОЛОДНЫМ КЛИМАТОМ**

***В.В. Новиков, И.В. Новиков***

В статье приведены сведения о принципах организации беспроводных сенсорных сетей и сформулированы требования к проектированию беспроводных сенсорных сетей, развертываемых на территориях с ограниченным или отсутствующим доступом в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом: общие требования, требования к принципам организации и функционирования, климатические требования, требования к алгоритмам, требования к узлам.

Ключевые слова: беспроводная сенсорная сеть, всепроникающая сенсорная сеть, ubiquitous sensor network, wireless sensor network, алгоритм кластеризации, алгоритм выбора головного узла, сенсорный узел, акторный узел, сенсорно-акторный узел.

Беспроводные сенсорные сети WSN (Wireless Sensor Networks) или всепроникающие сенсорные сети USN (Ubiquitous Sensor Networks) являются одной из самых перспективных информационно-телекоммуникационных технологий XXI века. Беспроводные сенсорные сети могут быть развернуты на земле, в воздухе, под и над водой, на коже и внутри живых организмов и т.д. в целях получения информации и воздействия на окружающие объекты. Беспроводные сенсорные сети могут использоваться в областях: управление кризисными и чрезвычайными ситуациями, военное дело, медицина, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство, мониторинг диких животных и т.д. [1, 2].

Беспроводная сенсорная сеть – это распределенная сеть, состоящая из множества беспроводных узлов узкой специализации, распределенных случайным образом на некоторой поверхности или в некоторой области, и узлов, обеспечивающих обмен информацией между беспроводными узлами узкой специализации и сервером. Беспроводные узлы узкой специализации подразделяются на сенсорные, акторные, сенсорно-акторные узлы и радиоидентификаторы RFID (Radio Frequency Identification). Как правило, беспроводные узлы узкой специализации называют просто узлами или сенсорами беспроводной сенсорной сети (без уточнения специализации). Узлы, обеспечивающие обмен информацией между узлами беспроводной сенсорной сети и сервером, называют шлюзами или базовыми станциями

BS (Base Station). Сервер, в общем случае, имеет канал связи с ССОП (Сеть Связи Общего Пользования), что обеспечивает доступ к информации беспроводной сенсорной сети группы пользователей. В соответствии с общепринятой терминологией, каждая отдельная беспроводная сенсорная сеть является децентрализованной самоорганизующейся ad hoc сетью с переменной структурой.

Первые беспроводные сенсорные сети, прототипы современных беспроводных сенсорных сетей, – это сети военного назначения: SOSUS (Sound Surveillance System) и AWACS (Airborne Warning And Control System).

По способу организации или архитектуре беспроводные сенсорные сети подразделяются на одноуровневые и иерархические беспроводные сенсорные сети. При одноуровневой организации все узлы беспроводной сенсорной сети объединяются в одну (частный случай) или несколько цепочек, передача информации осуществляется последовательно от узла к узлу, последний узел цепочки устанавливает соединение со шлюзом. Недостатком данной архитектуры является постоянная передача транзитной информации всеми узлами сети. При иерархической организации все узлы беспроводной сенсорной сети объединяются в один (частный случай) или несколько кластеров, передача информации осуществляется от каждого узла кластера к головному узлу кластера, головной узел кластера устанавливает соединение со шлюзом. Таким образом, при иерархической архитектуре с организационной точки зрения узлы беспроводной сенсорной сети подразделяются на узлы члены кластера и головные узлы СН (Cluster Head).

Работоспособность беспроводных сенсорных сетей обеспечивается с помощью алгоритмов организации цепочек, кластеризации, выбора головного узла и маршрутизации. Примерами таких алгоритмов являются алгоритмы LEACH, HEED, ERA, PEGASIS, RRCH, DCA, GMAC, TBRP, GFG, SPAN, SAR, COUGAR и т.д. [3, 4, 5, 6, 7]. Как правило, алгоритмы кластеризации и выбора головного узла являются взаимосвязанными и представляют собой единый алгоритм. А алгоритм маршрутизации является отдельным алгоритмом. Работа большинства алгоритмов организации цепочек, кластеризации и выбора головного узла основана на следующих принципах:

- работа сети во временной области разбита на раунды (round) или текущие интервалы равной длины;
- каждый раунд включает две фазы: фаза формирования и фаза стабильности;
- продолжительность фазы формирования значительно меньше продолжительности фазы стабильности;
- полезная информация (payload information) передается только в фазе стабильности.

Алгоритмы подразделяются на алгоритмы со случайным выбором и алгоритмы с предопределенным выбором.

К беспроводным сенсорным сетям, развертываемым на территориях с ограниченным или отсутствующим доступом в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом, предъявляются специфические требования, которые следует учитывать при проектировании сетей. Это общие требования, требования к принципам организации и функционирования сети, климатические требования, требования к алгоритмам кластеризации, выбора головного узла и маршрутизации, требования к узлам сети.

Общие требования:

– сеть должна быть самоорганизующейся и автономной, то есть иметь для этого достаточное количество вычислительных, энергетических и других ресурсов;

– сеть должна быть гибкой, чтобы адаптироваться к изменениям топологии сети;

– сеть должна быть масштабируемой, что подразумевает возможность функционирования сети при изменении числа сенсоров в широком диапазоне (от десятков до тысяч);

– сеть должна быть толерантной к отказам;

– сеть должна обеспечивать максимально возможные точность и качество передачи информации, то есть информация должна передаваться своевременно с заданным коэффициентом ошибок.

Требования к принципам организации и функционирования сети:

– сеть должна иметь иерархическую архитектуру;

– сеть должна быть саморазвертывающейся: узлы или часть узлов сети должны иметь в своем составе акторы, которые позволяют корректировать местоположение узла в пределах своего или нескольких соседних кластеров;

– шлюзы должны иметь акторы, позволяющие скрыть местоположение шлюза на местности;

– в состав сети, кроме сенсорных узлов и шлюзов, должны входить сервисные узлы узкой специализации, обеспечивающие работоспособность сети;

– количество сервисных узлов каждой узкой специализации, как правило, должно соответствовать количеству кластеров сети;

– сервисные узлы, в зависимости от практического приложения, могут использоваться в качестве головных узлов кластера на общих основаниях;

– в состав сети, как правило, должны включаться сервисные узлы дополнительных вычислительных ресурсов, дополнительной памяти, измерения параметров окружающей среды и координирующий сервисный узел;

– соотношение потребления энергии при «передаче; приеме; ждущем режиме; спящем режиме» должно быть «13:9:7:1»;

- должна быть предусмотрена возможность принудительного переключения узлов или части узлов сети в спящий режим;
- должна быть предусмотрена возможность принудительного отключения части узлов сети;
- должна быть предусмотрена возможность передачи критической информации по двум разным маршрутам;
- должна быть предусмотрена возможность переспроса информации.

Климатические требования:

- температура окружающей среды: от  $-40$  до  $+40$  °С;
- интенсивность осадков: отсутствуют/низкая/средняя/высокая;
- тип осадков: снег/дождь/туман/иней/роса;
- уровень запыленности: низкий/средний/высокий.

Требования к алгоритмам кластеризации, выбора головного узла и маршрутизации:

- в алгоритмах должны использоваться взаимосвязанные предопределенные процедуры кластеризации, выбора головного узла и маршрутизации;
- логические схемы алгоритмов должны учитывать текущие и прогнозируемые значения параметров окружающей среды;
- количество кластеров должно составлять около 5 % от общего числа узлов сети (сенсорные узлы плюс сервисные узлы).

Требования к узлам сети:

- количество и номенклатура сенсорных узлов должны определяться практическим приложением сети;
- количество и номенклатура сервисных узлов должны определяться практическим приложением сети;
- количество и номенклатура шлюзов должны определяться практическим приложением сети;
- каждый сенсорный узел сети должен иметь в своем составе подсистему обработки данных, подсистему восприятия и воздействия, коммуникационную подсистему, подсистему подогрева и не менее двух автономных источников питания;
- каждый сервисный узел должен иметь в своем составе подсистему обработки данных, коммуникационную подсистему, подсистему подогрева, не менее двух автономных источников питания, а подсистема восприятия и воздействия может быть опциональной;
- каждый шлюз должен иметь в своем составе подсистему обработки данных, акторную подсистему (или подсистему воздействия), две коммуникационные подсистемы разного типа, подсистему подогрева, не менее двух автономных источников питания;
- один автономный источник питания должен обеспечивать работоспособность подсистемы подогрева;

- подсистема подогрева должна поддерживать температуру внутри узла или шлюза не ниже минус 10 °С;
- конструкция узлов и шлюзов должна иметь теплоизоляционное исполнение и соответствовать требованиям способов и методов доставки узлов и шлюзов.

#### Библиографический список

1. Wireless World Research Forum. – 2008. – July. – № 4.
2. Гольдштейн, Б.С. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
3. Tharini, C. An Energy Efficient Spatial Correlation Base Data Gathering Algorithm for Wireless Sensor Networks / C. Tharini // International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS). – 2011. – 9 p. – URL: [www.airccse.org/journal/ijdps/papers/0511ijdps02.pdf](http://www.airccse.org/journal/ijdps/papers/0511ijdps02.pdf). DOI: 10.5121/ijdps.2011.2302.
4. Rashed, G. WEP: An Energy Efficient Protocol for Cluster Based Heterogeneous Wireless Sensor Network / G. Rashed // International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS). – 2011. – 7 p. – URL: [www.airccse.org/journal/ijdps/papers/0311dps05.pdf](http://www.airccse.org/journal/ijdps/papers/0311dps05.pdf). DOI: 10.5121/ijdps.2011.2205.
5. Koucheryavy, A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks / A. Koucheryavy // Proceedings, International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT 2010), Phoenix Park, Korea. – 2010. – 7 p. – URL: [www.icact.org/upload/2010/0603/20100603\\_Abstract\\_B.pdf](http://www.icact.org/upload/2010/0603/20100603_Abstract_B.pdf).
6. Kao, C.-C. Energy Efficient Clustering Communication Protocol for WSN / C.-C. Kao // Proceedings, International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT 2010), Phoenix Park, Korea. – 2010. – 7 p. – URL: [www.icact.org/upload/2010/0093/20100093\\_Abstract\\_B.pdf](http://www.icact.org/upload/2010/0093/20100093_Abstract_B.pdf).
7. Lee, K. A Density and Distance based Cluster Head Selection Algorithm in Sensor Networks / K. Lee // Proceedings, International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT 2010), Phoenix Park, Korea. – 2010. – 4 p. – URL: [www.icact.org/upload/2010/0182/20100182\\_Abstract\\_B.pdf](http://www.icact.org/upload/2010/0182/20100182_Abstract_B.pdf).

[К содержанию](#)