

УДК 351.321

Прищеп Т.О.,

старший викладач;

Ханіна Т.О.,

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут"

ЛІТАЮЧІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ

Анотація: Розглядається нове направлення дослідних робіт в області всепроникаючих сенсорних мереж - літаючі сенсорні мережі. Запропоновано архітектурні рішення по їх створенню, а також метод вибору точки збору інформації в літаючих сенсорних мережах.

Ключові слова: всепроникні сенсорні мережі, літаючі сенсорні мережі, Інтернет Речей, кластеризація.

Прищеп Т.А.

старший преподаватель

Ханина Т.О.,

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт"

ЛЕТАЮЩИЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Аннотация: Рассматривается новое направление исследовательских работ в области всепроникающих сенсорных сетей — летающие сенсорные сети. Предложены архитектурные решения по их созданию, а также метод выбора точки сбора информации в летающих сенсорных сетях.

Ключевые слова: всепроникающие сенсорные сети, летающие сенсорные сети, Интернет Вещей, кластеризация.

Prishepa T.A.,**Hanina T.O.,**

National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute"

FLYING SENSOR NETWORKS

Abstract: A new direction of research in the field of ubiquitous sensor networks - flying sensor networks. Proposed architectural solutions for their creation, as well as the method of choice in terms of gathering information in the flying sensor networks.

Keywords: pervasive sensor networks, flying sensor networks, Internet of Things, clustering.

Введение. В последние годы исследования в области ВСС постепенно переходят от изучения характеристик на плоскости к моделям в трехмерном пространстве [14, 15]. В статье предлагается новая область применения технологий ВСС — летающие сенсорные сети (ЛСС). При этом в качестве летающих узлов используются общедоступные беспилотные летающие аппараты типа Phantom. Это позволяет

рассматривать такие сети как будущий элемент сетей связи общего пользования (ССОП), естественно, при наличии шлюза с ССОП.

В качестве приложений ЛСС может рассматриваться мониторинг: объектов в трехмерном пространстве (в том числе для жилых помещений), сельскохозяйственных угодий, транспортных средств и т. д. Работы по исследованию ЛСС проводятся в лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ, возможности которой рассматриваются ниже.

Анализ исследований и публикаций. Прошло уже почти десять лет с того момента, как в журнале «Электросвязь» была опубликована первая статья по всепроникающим сенсорным сетям (ВСС) и их роли в развитии общества в целом [1]. За это время научной школой кафедры сетей связи СПбГУТ были проведены масштабные исследования в области определения характеристик трафика ВСС [2–5], разработки алгоритмов выбора головных узлов кластера [6–8], особенностей обеспечения сетевой безопасности в сенсорных сетях [9, 10]. С появлением концепции Интернета Вещей [11–13] это направление получило дополнительный импульс в развитии, поскольку ВСС являются технологической основой реализации концепции Интернета Вещей.

Изложение основного материала

Лаборатория Интернета Вещей. Открыта в СПбГУТ в декабре 2013 г. [16].

Основные задачи лаборатории:

zz разработка Интернета Вещей, участие в стартап-проектах, демонстрация проектов инвесторам;

zz проведение научных (теоретических и прикладных) исследований в области телекоммуникаций с широким участием магистров и аспирантов;

zz организация регулярных профессиональных обсуждений исследовательских проектов и их результатов в формате семинаров (круглых столов);

zz мониторинг тенденций развития зарубежной и отечественной науки в области телекоммуникаций;

zz взаимодействие с российскими и зарубежными научными центрами, участие сотрудников вуза в научных конференциях, семинарах и симпозиумах, проводимых в России и за рубежом.

Возможности лаборатории Интернета Вещей для исследований, проектирования и тестирования в рамках данной концепции довольно широкие. В составе лаборатории имеется оборудование для создания испытательных стендов по тестированию сенсорных сетей и систем локального позиционирования, подобран обширный перечень датчиков, исполнительных механизмов и устройств на базе открытых аппаратных платформ: Arduino Yun, Intel Galileo, RaspberryPi. На рис. 1 показана структура испытательного стенда, функционирующего для отработки исследовательских задач. В лаборатории развернут программно-

аппаратный комплекс для моделирования и исследования свойств трафика в сетях приложений Интернета Вещей.

Как показал опыт преподавания курса «Интернет Вещей», студентам наиболее интересно разрабатывать собственные устройства в рамках данной концепции, реализуя свои идеи. Так, в весеннем семестре каждый студент-старшекурсник принял участие в разработке Интернет Вещи.

Наиболее удачные из них демонстрировались на международной академической конференции «Калейдоскоп-2014».

Из реализованных проектов можно отметить:

zzWake Up coffee — модуль и приложение, позволяющие дистанционно управлять чайником или кофеваркой со смартфона (включение/выключение, контроль уровня воды, расход электроэнергии, температура воды);

zzThe Pandject — модуль и приложение, организующие поиск потерянных вещей, оснащенных миниатюрным Bluetooth-модулем. На базе данного проекта была успешно реализована система локального позиционирования на базе технологии Bluetooth;

zzWeathernet — миниатюрный программно-аппаратный комплекс, позволяющий получать прогноз погоды с высокой достоверностью;

zz «Пожарник» — комплекс по мониторингу состояния здоровья сотрудников МЧС в момент выполнения служебных обязанностей;

zz «Smart Models» — программно-аппаратный комплекс, с помощью которого можно собирать, обрабатывать и передавать данные в системы поддержки принятия решений для последующего анализа.



Рис. 1. Структура испытательного стенда в лаборатории Интернета Вещей

Как известно, для проведения аттестации и организации серийных испытаний беспроводных сенсорных сетей необходимо иметь комплекс методик тестирования.

Коллективом кафедры совместно с аспирантами и магистрами были разработаны методики по структуре тестирования совместимости и

спецификации тестов совместимости для технологий ZigBee, 6 LoWPAN, RPL [17].

В настоящее время в лаборатории Интернета Вещей завершается создание модельной ЛСС с использованием в качестве технических средств общедоступных БПЛА Phantom 2 и радиомодулей с операционной системой Contiki.

Архитектурные решения для ЛСС. Поскольку ЛСС являются одним из видов ВСС, архитектурно они могут быть построены как одноранговые, так и иерархические (кластерные) сети. Кроме того, ЛСС включают, по крайней мере,

два сегмента сети: наземный и летающий. Естественно, что каждый из них также может быть построен не только с иерархией, но и без нее.

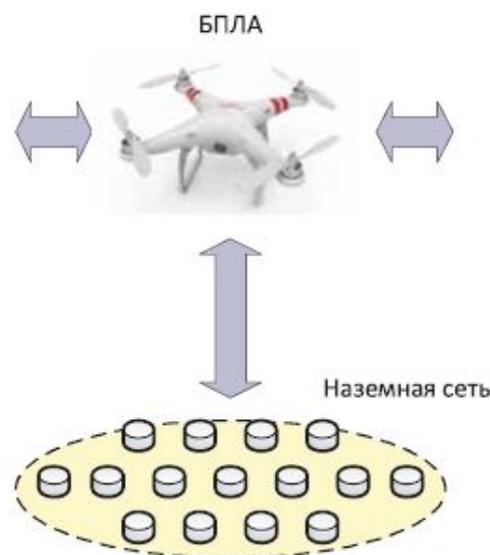


Рис. 2. ЛСС с одним БПЛА и одноранговой наземной сетью

На рис. 2 приведен один из вариантов построения ЛСС, когда летающая сеть состоит из одного беспилотного летающего аппарата (БПЛА), периодически собирающего информацию с наземной ВСС.

Такая ЛСС относится к классу сетей DTN (Delay Tolerant Network), т.е. сетей толерантных к задержкам, изучению которых посвящено достаточно много работ в области межпланетарного Интернета и спутниковых сетей связи [18]. Особенностью ЛСС даже в этом простейшем случае является очень большое число сенсорных узлов наземной сети. Действительно, только одно сенсорное

поле при использовании протокола ZigBee может содержать более 64 000 тыс. сенсорных узлов. Поэтому целесообразно, как и в существующих структурах ВСС, кластеризовать наземный сегмент сети с той разницей, что в качестве головного узла кластера резонно использовать БПЛА. При этом в момент времени t_1 БПЛА будет головным узлом для первого кластера, а в момент t_n — для n -го (рис. 3).

Заметим, что БПЛА тогда должен быть оснащен техническими и программными средствами, позволяющими выполнять функции головного узла кластера ВСС, т. е. реализовывать физический и канальный уровни протокола IEEE 802.15.4, поддерживать обмен информацией по протоколам ZigBee, 6LoWPAN, RPL, обеспечивать реконфигурацию кластера, особенно для мобильного наземного сегмента ЛСС и т. д. Поэтому мы и назвали предложенные в статье сети — летающими сенсорными сетями.

На рис. 4 приведена архитектура ЛСС с несколькими БПЛА, которые могут взаимодействовать между собой и с наземным сегментом ВСС.

Для такой архитектуры сети актуальным становится вопрос об организации кластерной сети для летающего сегмента ВСС, тем более что использование множества БПЛА позволяет избавиться от ограничений, налагаемых структурой сетей, толерантных к задержкам. Естественно, что кластеризация возможна и для наземного сегмента.

В качестве алгоритма кластеризации для летающего сегмента ЛСС можно предложить имеющий хорошие характеристики для трехмерного пространства алгоритм максимального покрытия МСА (Maximum Coverage Algorithm) [14], а для наземного сегмента — один из эффективных алгоритмов кластеризации ВСС для плоскостных моделей, например, алгоритм, основанный на диаграммах Вороного и методах нечеткой логики [19].

Важнейшим вопросом для всех указанных выше архитектурных решений по построению ЛСС является вопрос о том, в какой точке пространства наиболее эффективно собирать информацию от сенсорных узлов наземной сети.

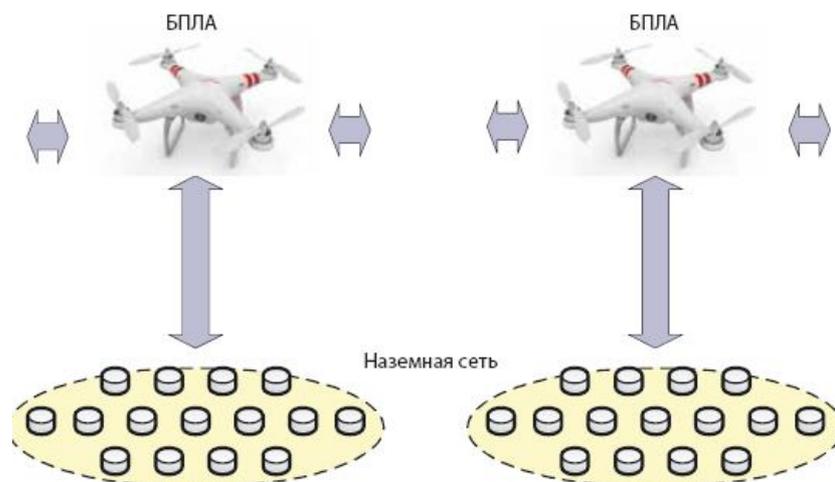


Рис. 3. ЛСС с одним БПЛА и кластерной наземной сетью

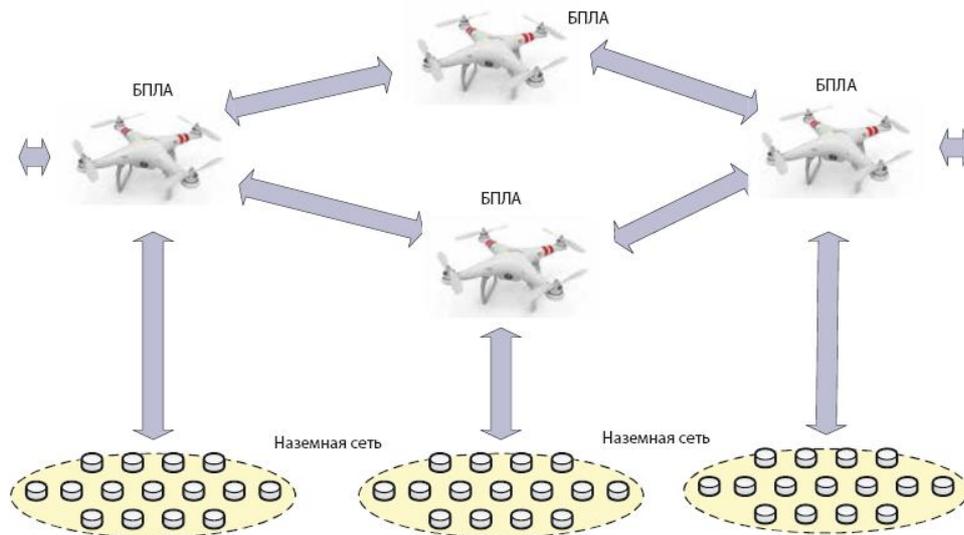


Рис. 4. ЛСС с несколькими БПЛА и наземной кластерной сетью

Метод выбора точки сбора информации посредством БПЛА. Каждый из узлов наземного сегмента ЛСС можно рассматривать как источник трафика, содержащего информацию о событии, явлении, процессе и т. д. Некоторое пространственное распределение трафика образуют N таких узлов. Представляется целесообразным собирать информацию в точке, соответствующей максимальному значению трафика данного распределения. Для определения такой точки можно воспользоваться методикой, применяемой для оптимального распределения базовых станций в сетях сотовой связи [20, 21].

Интенсивность трафика наземного сегмента сети a является случайной величиной, характеризуемой функцией распределения плотности вероятности $f_a(x,y)$. Поскольку плотность размещения сенсорных узлов в наземном сегменте, как правило, достаточно велика, будем использовать непрерывную функцию распределения.

Интенсивность обслуженного БПЛА трафика a определяется интенсивностью трафика наземной сети и пропускной способностью БПЛА. Известно, что пропускная способность канала (полоса пропускания) является функцией расстояния между БПЛА и точкой наземного сегмента ЛСС. Если пропускная способность канала больше интенсивности $b_i > a_i$ трафика наземной сети, то функция распределения вероятности обслуженного трафика повторяет функцию распределения трафика наземного сегмента $f_a(x,y)=f_a(x,y)$. В этом случае математическое ожидание (максимальное значение) величины обслуженного трафика будет совпадать с математическим ожиданием интенсивности трафика наземного сегмента сети.

Полагая, что $a_i < b_i$, максимум пропускной способности будет иметь место в точке (x_0, y_0) , определяемой математическим ожиданием величины a .

Поскольку интенсивность трафика наземной сети задана непрерывной функцией $a(x, y)$ при условии, что $a(x, y) < b(x, y)$, то

$$x_0 = \frac{1}{B} \iint_S x f_a(x, y) dx dy \text{ (м)} \quad (1)$$

$$y_0 = \frac{1}{B} \iint_S y f_a(x, y) dx dy \text{ (м)} \quad (2)$$

где

$$B = \iint_S f_a(x, y) dx dy \left(\frac{\text{бит}}{с} \right) \quad (3)$$

Таким образом, можно оптимизировать положение точки сбора информации посредством БПЛА.

Выводы. 1. Новый класс сетей — летающие сенсорные сети основан на использовании общедоступных БПЛА.

2. Базовые архитектуры для построения ЛСС включают летающий и наземный сегменты.

3. Для кластеризации летающего сегмента возможно использование алгоритма максимального покрытия, а для наземного сегмента — алгоритма, основанного на диаграммах Вороного и методах нечеткой логики.

4. Точка сбора информации посредством БПЛА в ЛСС выбирается по максимальному значению трафика, создаваемого наземным сегментом.

Использованные источники информации:

1. Кучерявый А. Е., Кучерявый Е. А. От e-России к u-России: тенденции развития электросвязи // Электросвязь. — 2005. — № 5.
2. Koucheryavy A., Prokopiev A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications / The 11th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking. NEW2AN 2011. — LNCS, Springer, Heidelberg. — 2011. — Vol. 6869.
3. Vybornova A., Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications / The 12th International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking. NEW2AN 2012. — LNCS, Springer, Heidelberg. — 2012. — Vol. 7469.
4. Koucheryavy A., Muthanna A., Prokopiev A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Image Applications. Internet of Thing and its Enablers (INTHITEN) / Proceedings, Conference State University of Telecommunication. — St. Petersburg, Russia, 3–4 June 2013.
5. Koucheryavy A. State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models / Proceedings, ICACT'2014. — Phoenix Park, Korea, 16–19 February 2014.
6. Koucheryavy A., Salim A. Cluster-based Perimeter-coverage Technique for Heterogeneous Wireless Sensor Networks / Proceedings, ICUMT 2009. — International Conference IEEE on Ultra Modern Telecommunications. — St.-Petersburg, Russian. 2009.
7. Koucheryavy A., Salim A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2009. — Phoenix Park, Korea, 2009.

8. Koucheryavy A., Salim A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2010. — Phoenix Park, Korea, 2010.
9. Богданов И. А., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Характеристики жизненного цикла мобильной сенсорной сети при различных потоках ложных событий // Электросвязь. — 2013. — № 1.
10. Koucheryavy A., Bogdanov I., Paramonov A. The mobile Sensor Network Life-Time under Different Spurious Flows Intrusion. LNCS, Springer. 13 th NEW2AN, LNCS 8121. — 28–30 August 2013.
11. Кучерявый А. Е. Интернет вещей // Электросвязь. — 2013. — № 1.
12. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. — С. Петербург: Любавич, 2011.
13. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. — С. Петербург: БХВ, 2013.
14. Abakumov P., Koucheryavy A. The Cluster Head Selection Algorithm in the 3D USN / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2014. — Phoenix Park, Korea, 2014.
15. Attarzadeh N., Mehrani M. A New Three Dimensional Clustering Method for Wireless Sensor Networks // Global Journal of Computer Science and Technology. — April 2011. — Vol.11, issue 6, version 1.0.
16. www.iotlab.ru
17. Мутханна А. Сравнение протоколов маршрутизации для всепроникающих сенсорных сетей // Электросвязь. — 2014. — № 9.
18. Akyildiz I. F., Akan O. B., Chen C. et al. InterPlaNetary Internet: state-of-the-art and research challenges // Computer Networks. — 2003. — № 43.
19. Аль-Наггар Я. М. Алгоритм выбора головного узла кластера для всепроникающих сенсорных сетей с использованием нечеткой логики и диаграмм Вороного // Электросвязь. — 2014. — № 9.
20. Комашинский В. И., Парамонов А. И., Саид М. А.С. Особенности проектирования и управления когнитивными беспроводными сетями связи // Вестник связи. — 2012. — № 10. — С. 79–80.
21. Комашинский В. И., Парамонов А. И., Саид М. А.С. Особенности проектирования и управления когнитивными беспроводными сетями связи // Вестник связи. — 2012. — № 11. — С. 15– 17 (окончание).

References:

1. AE Curly, Curly EA From Russia to the e-u-Russia: Trends // Telecommunication Telecommunications. - 2005. - № 5.
2. Koucheryavy A., Prokopiev A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications / The 11th International Conference on Next Generation Wired / Wireless Networking. NEW2AN 2011. - LNCS, Springer, Heidelberg. - 2011. - Vol. 6869.
3. Vybornova A., Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications / The 12th International Conference on Next Generation Wired / Wireless Networking. NEW2AN 2012. - LNCS, Springer, Heidelberg. - 2012. - Vol. 7469.
4. Koucheryavy A., Muthanna A., Prokopiev A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Image Applications. Internet of Thing and its Enablers (INTHITEN) / Proceedings, Conference State University of Telecommunication. - St. Petersburg, Russia, 3-4 June 2013.

5. Koucheryavy A. State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models / Proceedings, ICACT'2014. - Phoenix Park, Korea, 16-19 February 2014.
6. Koucheryavy A., Salim A. Cluster-based Perimeter-coverage Technique for Heterogeneous Wireless Sensor Networks / Proceedings, ICUMT 2009. - International Conference IEEE on Ultra Modern Telecommunications. - St.-Petersburg, Russian. 2009.
7. Koucheryavy A., Salim A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2009. - Phoenix Park, Korea, 2009.
8. Koucheryavy A., Salim A. Prediction-based Clustering Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2010. - Phoenix Park, Korea, 2010.
9. IA Bogdanov, Paramonov AI, Curly AE Characteristics of the life cycle of the mobile sensor network for different streams of false events // Telecommunications. - 2013. - № 1.
10. Koucheryavy A., Bogdanov I., Paramonov A. The mobile Sensor Network Life-Time under Different Spurious Flows Intrusion. LNCS, Springer. 13 th NEW2AN, LNCS 8121. - 28-30 August 2013.
11. Curly AE // Telecommunications Internet of Things. - 2013. - № 1.
12. Curly AE, Prokopiev AV, Curly EA Self-organizing networks. - St. Petersburg: Lubavitch 2011.
13. Goldstein BS, Curly AE Communication networks post-NGN. - St. Petersburg: BHV, 2013.
14. Abakumov P., Koucheryavy A. The Cluster Head Selection Algorithm in the 3D USN / Proceedings, International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2014. - Phoenix Park, Korea, 2014.
15. Attarzadeh N., Mehrani M. A New Thre Dimensinal Clustering Method for Wireless Sensor Networks // Global Journal of Computer Science and Technology. - April 2011. - Vol.11, issue 6, version 1.0.
16. www.iotlab.ru
17. Muthanna A. Comparison of routing protocols for pervasive sensor networks // Telecommunications. - 2014. - № 9.
18. Akyildiz I. F., Akan O. B., Chen C. et al. InterPlaNetary Internet: state-of-the-art and research challenges // Computer Networks. - 2003. - № 43.
19. Al-Naggar YM selection algorithm for cluster head node pervasive sensor networks using fuzzy logic and Voronoi diagrams // Telecommunications. - 2014. - № 9.
20. Komashinskiy VI, Paramonov AI, Said M. A. Features, design and management cognitive wireless communication networks // Bulletin of communication. - 2012. - № 10. - S. 79-80.
21. Komashinskiy VI, Paramonov AI Said M. A. Features, design and management cognitive wireless communication networks // Bulletin of communication. - 2012. - № 11. - S. 15 17 (the end).

РЕЦЕНЗЕНТ: Лисенко О.І.