

М.А. Забарин, Ю.В. Пономарчук

ТЕХНОЛОГИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Анализируются гибридные системы, основанные на использовании технологий статичных беспроводных сенсорных сетей и беспилотных летательных аппаратов, которые применяются для обеспечения своевременного оповещения, качественного выполнения поисковых операций и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Приведен обзор концепций размещения и взаимодействия сетей летательных аппаратов, существующих разработок и проектов систем поиска и мониторинга в условиях чрезвычайных ситуаций, а также перспективы их развития. Рассмотрены текущие проблемы отрасли и открытые темы для исследований.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, поиск при чрезвычайных ситуациях, мониторинг.

M.A. Zabarin, Yu.V. Ponomarchuk

HETEROGENEOUS WIRELESS SENSOR NETWORKS TECHNOLOGIES WITH THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN SOLVING SEARCH PROBLEMS AND ELIMINATING THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS

Hybrid systems are analyzed based on the use of technologies of static wireless sensor networks and unmanned aerial vehicles, which are used to ensure timely notification, high-quality search operations and emergency situations. A review of the concepts of deployment and interaction of networks of aircraft, existing developments and projects of search and monitoring systems in emergency situations, as well as their development prospects are given. The current problems of the technology and open topics for research are considered.

Keywords: wireless sensor networks, unmanned aerial vehicles, UAV, emergency search, monitoring.

Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется решению задач мониторинга окружающей среды и поиска пострадавших в чрезвычайных ситуациях. В статье [11] рассматриваются решения, применяемые в замкнутых пространствах, где технология беспроводных сенсорных сетей (англ. *wireless sensor networks*; далее – WSN) является перспективной, позволяя быстрее реагировать на происходящие события.

Данная работа посвящена обзору проектов, совмещающих некоторые из современных технологий сбора, передачи, обработки и агрегирования данных, построенных на основе WSN с мобильными узлами и нацеленных на применение в чрезвычайных ситуациях, а также анализу возможностей, предоставляемых подобными гибридными системами.

Использование беспилотных летательных аппаратов для организации работы WSN

В качестве наиболее перспективных решений задачи мониторинга и реагирования в условиях чрезвычайных ситуаций на открытой местности исследователи предлагают использование сетей, основными компонентами которых являются статичные WSN и беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Топология расположения узлов WSN рассматривается в работах [7; 14; 17; 18] в зависимости от формы и протяженности области мониторинга. Многообразие устройств и узлов БПЛА и WSN позволяет исследователям разрабатывать эффективные схемы взаимодействия различного характера, где БПЛА и WSN отводятся разные роли.

Использование БПЛА для установки WSN. Несмотря на то что развертывание WSN, выполненное заранее, является предпочтительным и позволяет проектировать, настраивать и оптимизировать сеть для наиболее эффективной работы, для некоторых задач требуется оперативная установка WSN. Проблемам и вариантам размещения узлов сенсорной сети с помощью БПЛА посвящены работы [1; 14; 19]. В них обосновано, что применение метода детерминированного размещения сенсорных узлов позволяет добиться лучшего качества работы сети при меньшем количестве устройств.

Использование БПЛА для обеспечения связности сети. Связность гетерогенной WSN является параметром, который обеспечивается как ее структурой, так и параметрами сетей, взаимодействующих с ней (плотность или число терминалов подвижной связи), и может быть интерпретирована как вероятность существования маршрута между произвольным узлом сети и шлюзом с учетом взаимодействия с сетями других протоколов. Исходя из особенностей взаимодействующих сетей, связность может быть представлена как вероятность существования маршрута на некотором интервале времени или как время, в течение которого узел сети доступен [2]. БПЛА могут выступать в качестве ретранслятора и координатора сети WSN, обеспечивающего ее связность [5; 6; 9]. В данных работах отмечается, что результаты моделирования показывают преимущества использования БПЛА по сравнению с добавлением новых узлов сети по параметрам качества и энергоэффективности. Также в статьях [3; 16] авторы предлагают использовать WSN для повышения надежности работы сенсорных сетей летательных аппаратов.

Использование БПЛА для агрегирования данных. В работах [11; 13; 15] рассматривается возможность сбора БПЛА агрегированной информации, поступающей с узлов WSN, что предоставляет, с одной стороны, ряд преимуществ, а с другой – повышает требования к организации процессов агрегирования, шифрования, передачи данных.

Использование WSN для построения оптимального маршрута БПЛА. Для ряда задач при использовании WSN характерна передача скалярных значений, но порой необходимо получение и мультимедийных данных. В этом случае использование патрулирующих БПЛА, которые создают свой маршрут, основываясь на передаваемых WSN значениях, позволяет, с одной стороны, получать мультимедийные данные, поддерживая необходимый уровень качества обслуживания, а с другой – обеспечивать наиболее оптимальный маршрут движения для изменившихся условий среды [12].

Совместное применение БПЛА и WSN привело к рассмотрению задач проектирования гибридных систем, которые способны использовать преимущества нескольких технологий.

Особенности использования БПЛА и WSN в чрезвычайных ситуациях

Эффективность использования элементов гибридных сетей в значительной степени определяется условиями окружающей среды. Авторами работы [13] выделено 3 группы чрезвычайных ситуаций, при этом в условиях каждой группы изменяются характер и соотношение в использовании WSN и БПЛА (табл.).

Роль WSN и БПЛА в чрезвычайных ситуациях

Группа	1	2	3
Характер чрезвычайных ситуаций	Геофизические (землетрясение, цунами, извержение вулкана, сель, оползень, лавина) или гидрологические (паводок, селевой поток) условия	Климатические (экстремальная температура, засуха, лесной пожар), гидрологические (наводнение) или антропогенные (промышленное загрязнение, обрушение конструкций, отключение электроэнергии, пожар, утечка токсичных материалов) условия	Метеорологические (тропический шторм, ураган, буря, ливень) условия
<i>Особенности использования WSN и БПЛА</i>			
Подготовка и предупреждение: мониторинг и инженерные системы раннего предупреждения	Оптимизация WSN для сбора и анализа данных для оценки вероятности будущих стихийных бедствий с использованием БПЛА как элементов коммуникационной системы		
Оценка: ситуационная осведомленность по оценке ущерба структурных инспекций	Использование гетерогенных сетей, включающих БПЛА. БПЛА типа «летающее крыло» – для определения критических ситуаций, для дальнейшего исследования района – мультикоптеры	Использование существующей инфраструктуры WSN и частично сети БПЛА для обеспечения работы WSN. Использование БПЛА для координации работы WSN	Анализ данных, предоставленных WSN и другими доступными информационными источниками (например, социальными сетями)
Реагирование и восстановление: спасательные миссии, обеспечение связи	Использование различных типов камер, специализированных датчиков и исполнительных механизмов, установленных на БПЛА, предназначенных для спасательных операций и доставки	Максимальное использование данных, предоставленных WSN с целью повышения эффективности поисково-спасательных операций, выполняемых БПЛА	Использование полнофункциональной WSN для восстановления нарушенной сети БПЛА

Открытые вопросы для исследования

Проблема обеспечения связи при пиковой нагрузке коммуникационной сети. Основная проблема взаимодействия устройств различных коммуникационных сетей состоит в значительной разнице характеристик движения объектов наземного и воздушного сегментов.

Забарин М.А., Пономарчук Ю.В. Технологии гетерогенных беспроводных...

Как правило, элемент наземной сети может находиться в зоне связи элемента воздушного сегмента лишь ограниченное время. Функционирование сети определяется также протоколами выбора роли узлов и протоколами маршрутизации трафика. Для повышения эффективности использования ресурсов сети в различных условиях разработаны различные алгоритмы маршрутизации, которые принято подразделять на проактивные, реактивные и основанные на знании географических координат узлов. В работах [4; 14] говорится о проблемах передачи данных на максимальной скорости. Так, максимальное время передачи для различных модулей варьируется в пределах 2–4 с. Таким образом, необходимы эффективные методы устранения избыточности, сжатия и агрегирования данных.

Проблема подмены данных. В работах [8; 10] исследователи практически показали возможности злонамеренного использования гибридных сетей и дезорганизации их работы посредством добавления нового узла, предоставляющего некорректную информацию, подмены сигнала, а также использования устройств, способных вызывать помехи в работе сети. Создание белых списков, а также использование механизмов шифрования и восстановления не способны справиться со всеми возможными проблемами, возникающими при несанкционированной модификации данных.

Проблема выбора размещения узлов WSN. Анализ алгоритмов выбора маршрутов передачи и обработки данных показывает, что одной из основных проблем WSN и ad-hoc-сетей является отсутствие достаточного количества достоверных данных о конфигурации, что приводит к затратам ресурсов сети [7; 17]. Правильное размещение узлов WSN позволяет получить лучший результат и при изменениях в работе приложений (изменение маршрутов передачи данных, объема трафика, периодичности передачи и т.п.). Однако задача размещения чаще всего является частной. В исследованиях [13; 18] даны общие рекомендации, работа [17] посвящена выбору расположения узлов в приложениях для измерения протяженных объектов, таких как нефте- и газопроводы, линии связи и ЛЭП. Оптимальные алгоритмы по расположению узлов в жилых сооружениях представлены в работе [18]. Однако, хотя и существуют схемы оптимального расположения WSN в условиях чрезвычайных ситуаций, сами узлы могут быть заблокированы и выведены из строя, поэтому необходимы инструменты, способные обеспечить работу WSN в реальном времени в чрезвычайных ситуациях, а также восстановить связность сети.

Заключение

Использование гибридных сетей позволяет существенно расширить спектр решаемых задач поиска и ликвидации чрезвычайных последствий, давая новые возможности для оперативной установки узлов WSN, обеспечения связности сети и агрегирования данных, а также построения оптимального маршрута БПЛА.

В зависимости от характера чрезвычайной ситуации изменяется соотношение и возможности роли применяемых устройств гибридных сетей, что в значительной мере повышает итоговую эффективность и дает возможности выполнить задачи, не решаемые каждым из классов устройств по отдельности.

Несмотря на активные исследования, открытыми остаются вопросы методов размещения узлов WSN, обеспечения связи при пиковой нагрузке коммуникационной сети, защищенности каналов связи.

Литература

1. Долгушев Р.А., Киричек Р.В., Владыко А.Г., Кучерявый А.Е. Программно-конфигурируемая архитектура взаимодействия наземного сегмента и беспилотного летательного аппарата в летающих сенсорных сетях // Интернет вещей и 5G (INTHITEN 2016): труды XXII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб.: СПбГУТ, 2016. С. 1–6.
2. Кучерявый А.Е., Нуриллов И.Н., Парамонов А.И., Прокопьев А.В. Обеспечение связности беспроводных сенсорных узлов гетерогенной сети // Информационные технологии и коммуникации. 2015. Вып. 1 (9). С. 115–122.
3. Лысенко А.И., Тачинина Е.Н., Чумаченко С.Н. Способ размещения сенсоров в зоне чрезвычайной ситуации на базе беспилотных летательных аппаратов // Проблемы телекоммуникаций: збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2017.
4. Павлов А.А., Датьев И.О. Исследование влияния различных параметров на характеристики передачи данных беспроводных многошаговых сетей // Труды Кольского научного центра РАН. 2016. Вып. 6. С. 45–55.
5. Поспелов Б.Б. Повышение связанности беспроводных сенсорных сетей в критических условиях на основе управляемых непрерывных каналов связи // Науковий вісник УкрНДІПБ. 2014. № 2 (30). С. 85–92.
6. Al-Anbagi I., Erol-Kantarci M., Mouftah H.T. A Survey on Cross-Layer Quality of Service Approaches in WSNs for Delay and Reliability-Aware Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2016. Vol. 18, № 1. P. 525–552.
7. Alduraibi F., Lasla N., Younis M. Coverage-Based Node Placement Optimization in Wireless Sensor Network with Linear Topology // Materials of IEEE International Conference on Communications (ICC). Kuala Lumpur, 2016. P. 1–6.
8. Behzadan V. Cyber-Physical Attacks on UAS Networks-Challenges and Open Research Problems. [S. l.], 2017. 6 p.
9. Bhandary V., Malik A., Kumar S. Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues // Hindawi Journal of Engineering. 2016. Vol. 7.
10. Chattopadhyay A., Prakas A., Shafique M. Secure Cyber-Physical Systems: Current Trends, Tools and Open Research Problems // Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). 2017. March. P. 1104–1109.
11. Chizhov A., Karakozov A. Wireless Sensor Networks for Indoor Search and Rescue Operations // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5, № 2.
12. Deshpandea N., Granta E., Hendersonb T.C., Draelos M.T. Autonomous Navigation Using Received Signal Strength and Bearing-only Pseudogradient Interpolation // Robotics and Autonomous Systems. 2016. Vol. 75. P. 129–144.
13. Erdelj M., Natalizio E., Kaushik R. Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management // IEEE Pervasive Computing. 2017. Vol. 16, № 1. P. 24–32.
14. Kersnovski T., Gonzalez F., Morton K. A UAV System for Autonomous Target Detection and Gas Sensing // Materials of IEEE Aerospace Conference (Yellowstone Conference Center, Big Sky, Montana, 4–11 March 2017). Big Sky, 2017. P. 1–12.
15. Motlagh N.H., Bagaа M., Taleb T. UAV-Based IoT Platform: A Crowd Surveillance Use Case // IEEE Communications Magazine. 2017. February. P. 128–134.
16. Sharma V., Srinivasan K., Chao H.-C. Intelligent Deployment of UAVs in 5G Heterogeneous Communication Environment for Improved Coverage // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 85, issue C. P. 94–105.

17. *Subramaniam S.K., Nilavalan R., Balachandran W.* Enhancing Pipeline Network Performance Using Dual Interleaving Cluster Head Routing Protocol // *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2017. Vol. 17, № 4. P. 284–291.
18. *Tashakkori H., Rajabifard A., Kalantari M.* Facilitating the 3D Indoor Search and Rescue Problem: An Overview of the Problem and an Ant Colony Solution Approach // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 11th 3D Geoinfo Conference (Athens, Greece, 20–21 October 2016)*. Vol. IV-2/W1. Athens, 2016. P. 333–240.
19. *Wang A., Ji X., Wu D.* GuideLoc: UAV-Assisted Multitarget Localization System for Disaster Rescue // *Hindawi Mobile Information Systems*. 2017. March. P. 1–13.

Literatura

1. *Doligushev R.A., Kirichek R.V., Vladyko A.G., Kucheryavyj A.E.* Programmno-konfiguriruemaya arkhitektura vzaimodejstviya nazemnogo segmenta i bespilotnogo letatel'nogo apparata v letayushchikh sensorykh setyakh // *Internet veshchej i 5G (INTHITEN 2016): trudy XXII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. SPb.: SPbGUT, 2016. C. 1–6.
2. *Kucheryavyj A.E., Nurilloev I.N., Paramonov A.I., Prokop'ev A.V.* Obespechenie svyaznosti besprovodnykh sensorykh uzlov geterogennoj seti // *Informatsionnye tekhnologii i kommunikatsii*. 2015. Vyp. 1 (9). S. 115–122.
3. *Lysenko A.I., Tachinina E.N., Chumachenko S.N.* Sposob razmeshcheniya sensorov v zone chrezvychajnoj situatsii na baze bespilotnykh letatel'nykh apparatov // *Problemi telekommunikatsij: zbirnik materialiv Mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferentsii*. Kiïv, 2017.
4. *Pavlov A.A., Dat'ev I.O.* Issledovanie vliyaniya razlichnykh parametrov na kharakteristiki peredachi dannykh besprovodnykh mnogoshagovykh setej // *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016. Vyp. 6. C. 45–55.
5. *Pospelov B.B.* Povyshenie svyazannosti besprovodnykh sensorykh setej v kriticheskikh usloviyakh na osnove upravlyaemykh nepreryvnykh kanalov svyazi // *Naukovij visnik UkrNDIPB*. 2014. № 2 (30). C. 85–92.
6. *Al-Anbagi I., Erol-Kantarci M., Mouftah H.T.* A Survey on Cross-Layer Quality of Service Approaches in WSNs for Delay and Reliability-Aware Applications // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18, № 1. P. 525–552.
7. *Alduraibi F., Lasla N., Younis M.* Coverage-Based Node Placement Optimization in Wireless Sensor Network with Linear Topology // *Materials of IEEE International Conference on Communications (ICC)*. Kuala Lumpur, 2016. P. 1–6.
8. *Behzadan V.* Cyber-Physical Attacks on UAS Networks-Challenges and Open Research Problems. [S. l.], 2017. 6 p.
9. *Bhandary V., Malik A., Kumar S.* Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues // *Hindawi Journal of Engineering*. 2016. Vol. 7.
10. *Chattopadhyay A., Prakas A., Shafique M.* Secure Cyber-Physical Systems: Current Trends, Tools and Open Research Problems // *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*. 2017. March. P. 1104–1109.
11. *Chizhov A., Karakozov A.* Wireless Sensor Networks for Indoor Search and Rescue Operations // *International Journal of Open Information Technologies*. 2017. Vol. 5, № 2.
12. *Deshpandea N., Granta E., Hendersonb T.C., Draelos M.T.* Autonomous Navigation Using Received Signal Strength and Bearing-only Pseudogradient Interpolation // *Robotics and Autonomous Systems*. 2016. Vol. 75. P. 129–144.

13. Erdelj M., Natalizio E., Kaushik R. Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management // IEEE Pervasive Computing. 2017. Vol. 16, № 1. P. 24–32.
14. Kersnovski T., Gonzalez F., Morton K. A UAV System for Autonomous Target Detection and Gas Sensing // Materials of IEEE Aerospace Conference (Yellowstone Conference Center, Big Sky, Montana, 4–11 March 2017). Big Sky, 2017. P. 1–12.
15. Motlagh N.H., Bagaа M., Taleb T. UAV-Based IoT Platform: A Crowd Surveillance Use Case // IEEE Communications Magazine. 2017. February. P. 128–134.
16. Sharma V., Srinivasan K., Chao H.-C. Intelligent Deployment of UAVs in 5G Heterogeneous Communication Environment for Improved Coverage // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Vol. 85, issue C. P. 94–105.
17. Subramaniam S.K., Nilavalan R., Balachandran W. Enhancing Pipeline Network Performance Using Dual Interleaving Cluster Head Routing Protocol // International Journal of Computer Science and Network Security. 2017. Vol. 17, № 4. P. 284–291.
18. Tashakkori H., Rajabifard A., Kalantari M. Facilitating the 3D Indoor Search and Rescue Problem: An Overview of the Problem and an Ant Colony Solution Approach // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 11th 3D Geoinfo Conference (Athens, Greece, 20–21 October 2016). Vol. IV-2/W1. Athens, 2016. P. 333–240.
19. Wang A., Ji X., Wu D. GuideLoc: UAV-Assisted Multitarget Localization System for Disaster Rescue // Hindawi Mobile Information Systems. 2017. March. P. 1–13.

DOI: 10.25586/RNUV9187.19.04.P.100

УДК 004.056.55:621.389:535.14

А.В. Борисова, А.Е. Жияев, С.В. Алфёров, В.Л. Елисеев,
Ю.В. Кармазиков, А.Н. Климов, К.А. Балыгин

ИСПЫТАНИЕ КОМПЛЕКСА КВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ
АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ГОРОДСКИХ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

Описываются особенности работы на реальных городских линиях комплекса квантовой криптографической аппаратуры защиты информации, разработанного компанией «ИнфоТеКС» совместно с Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова. Система тестировалась как в стабильных внешних условиях, так и при наличии температурного градиента. Отмечено, что изменение температуры с +25 до +18 °С вызвало возрастание квантовых ошибок в два раза и, следовательно, снижение скорости выработки секретных квантовых ключей, но не привело к полной остановке генерации ключей. По результатам испытаний выделены направления развития и способы повышения качества работы комплекса и выработки квантовых ключей. *Ключевые слова:* квантовое распределение ключей, квантовая криптография, волоконно-оптические линии связи, защита информации, полевые испытания.