

## АРХИТЕКТУРЫ БЫСТРОРАЗВОРАЧИВАЕМОЙ ЛЕТАЮЩЕЙ СЕТИ ДЛЯ ЭКСТРЕННЫХ СЛУЧАЕВ

**Ч. З. Динь\*, Р. В. Киричек**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: duydt.sut@gmail.com

**Аннотация**—Изменение климата и стихийные бедствия приводят к необратимым последствиям для инфраструктуры городов и стран. Примерами могут быть тропические штормы, наводнения и засухи, которые напрямую влияют на жизнедеятельность общества, включая полное и частичное разрушение инфраструктуры информационно-коммуникационных технологий. С учетом развития беспилотной авиации целесообразно рассмотреть вопрос о создании средств для экстренных служб, которые обеспечат оперативное развертывание временной инфраструктуры для обеспечения услуг связи и передачи данных в пострадавших районах. **Предмет исследования.** В статье представлено описание архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб, которая предлагается использоваться в случае стихийного бедствия. Рассмотрены различные сценарии применения БПЛА при групповом взаимодействии, а также метод использования привязного БПЛА для обеспечения длительного функционирования узлов-ретрансляторов. **Метод.** Представлено концептуальное описание архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб и приведено обоснование выбора технологий и протоколов для организации взаимодействия между узлами в рассмотренной сети. **Основные результаты.** Для предложенной архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб рассмотрены и описаны основные элементы, сценарии применения: для сбора данных с сенсорных полей и предоставления услуг связи по передаче данных для целей передачи голосовой информации. Также представлен подход по использованию привязанных высотных беспилотных платформ для организации высокоскоростной беспроводной связи на большие расстояния в прямой видимости. **Практическая значимость.** Предложенная архитектура быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб легла в основу Международной Рекомендации МСЭ-T Q.3062 «Архитектура сигнализации быстроразворачиваемой сети электросвязи в чрезвычайных ситуациях для использования в случае стихийных бедствий». Данная рекомендация может быть использована для создания быстроразворачиваемых комплексов экстренной связи для оперативных служб всех стран мира.

**Ключевые слова**—сеть связи в чрезвычайных ситуациях, летающая сеть, БПЛА, стихийное бедствие.

### Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.11.2020, принята к печати 23.12.2020.

**Ссылка для цитирования:** Динь Ч. З., Киричек Р. В. Архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных случаев // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 4. С. 10–22. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-10-22.

## ARCHITECTURES OF THE FAST DEPLOYABLE FLYING NETWORK FOR EMERGENCIE

**T. Dinh\*, R. Kirichek**

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: duydt.sut@gmail.com

**Abstract**—Climate change and natural disasters affected most of the countries all over the globe. The consequence such as tropical storms, floods and droughts directly affect social and various industrial sectors including Information Communication Technology. The article is intended to describe the architectures of the fast deployable flying network for emergencies to be used in a natural disaster.

**Keywords**—emergency telecommunication network, flying network, UAV, natural disaster.

### Article info

Article in Russian.

Received 27.11.2020, accepted 23.12.2020.

**For citation:** Dinh T., Kirichek R. Architectures of the Fast Deployable Flying Network for Emergencie // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 4. pp. 10–22 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-10-22.

### Введение

В последнее десятилетие изменение климата и стихийные бедствия затронули большинство стран по всему миру. Такие последствия, как тропические штормы, наводнения и засухи, напрямую влияют на социальный и различные промышленные секторы, включая информационно-коммуникационные технологии (ИКТ).

В связи с этим, развертывание сети связи в чрезвычайных ситуациях становится первой и важной помощью для гражданского населения, пострадавшего от стихийных бедствий. Быстрое развертывание таких сетей имеет основополагающее значение.

На сегодняшнее время, аварийные системы, которые используются в случае стихийных бедствий, основаны на существующих технологиях, таких как космические сети (например, *Iridium* и т. д.). [1].

Однако в грядущей эре 5G и Интернета вещей появятся некоторые технологии, которые могут сыграть значимую роль в оказании помощи в предоставлении широкого спектра услуг ИКТ, от простой голосовой/видео до обмена данными телеметрии и т. д. Все эти услуги, которые быстро развертываются в пострадавшей стране, могут

в достаточной мере изменить ситуацию и помочь спасти жизнь пострадавших стихийных бедствий [2].

В статье предполагается описание архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб, которая будет использоваться в случае стихийного бедствия.

### **Архитектуры быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб**

Изменение климата и стихийные бедствия затрагивают большинство стран по всему миру. Такие последствия, как тропические штормы, наводнения и засухи, непосредственно затрагивают социальные и различные промышленные секторы, включая ИКТ. После стихийного бедствия, телекоммуникационной инфраструктуры в данной области будет разрушена частично или полностью. Из-за этого, определение воздействия и масштаба разрушения является самой первой задачей при проведении поисково-спасательных операций. Для достижения этой цели необходимо считать данные с сенсорных узлов, расположенных в зоне разрушений. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с встроенным гетерогенным шлюзом, который поддерживает различные технологии передачи данных, может собрать данные от сенсорных узлов и передать их в сеть связи общего пользования [3].

Гетерогенный шлюз – это сетевое устройство или ретрансляционная система, предназначенная для обеспечения взаимодействия между двумя сетями связей с разными характеристиками, с использованием разных наборов протоколов и поддержкой разных технологий передачи данных. Такие шлюзы могут поддерживать различные технологии передачи данных, такие как ZigBee, BLE, 6LoWPAN, LoRa, NB-IoT, Wi-Fi (IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ad, IEEE 802.11p, IEEE 802.11ad), LTE-A., 3G, Wimax и другие, и действуют как связующее звено между различными устройствами и общедоступной сетью [4, 5].

Требования к обслуживанию и возможностям быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб включают в себя:

- Установить сенсорные узлы в зоне разрушений.
- Сбор данных с сенсорных узлов.
- Отправка данных на базовую станцию с различных технологий передачи данных с использованием гетерогенных шлюзов.
- Служба экстренного вызова, которая вызывает полицию, пожарную сигнализацию, медицинскую помощь и т. д. Эта служба должна иметь наивысший приоритет обслуживания и передавать вызов в ближайший центр экстренной помощи или спасательную платформу по кратчайшему пути. Она поддерживает требования к экстренному вызову, такие как передача информации о местоположении пользователей и так далее.
- Служба экстренного вещания, включая текстовое сообщение и голосовое вещание. Эта услуга должна иметь вторичный приоритет и использоваться для срочного объявления, которое должно быть своевременно доведено до сведения общественности. Например, она может отправить или отключить предупреждающее уведомление абонентам во время бедствия.

- Служба экстренной управления, включающая фиксированный и мобильный телефонный звонок, телефонную конференцию и другие услуги связи, требуемые системой управления. Эта услуга также очень важна во время чрезвычайных ситуаций, ликвидации последствий стихийных бедствий и смягчения их последствий. Она обеспечивает взаимосвязь между центром управления и всеми группами, участвующими в спасении, на месте и удаленно. Например, центр управления должен гарантировать связь и взаимодействие с местным/национальным правительством или военными для обеспечения эффективности спасательных работ.

- Службы мониторинга стихийных бедствий, которые обеспечивают наблюдение в режиме реального времени за аварийной ситуацией с помощью сенсорной сети. Он позволяет автоматически собирать и измерять данные и обеспечивает надежную передачу данных спасателю. Это может помочь людям оценить воздействие и масштаб ущерба.

- Создание сети и предоставление услуг связи общего пользования для пользователей, которые предоставляют услуги передачи сообщений и звонков абонентам в зоне бедствия. Службы обеспечивают текстовые сообщения, мультимедийные SMS, аудио-видеовызовы и поддерживает информационный канал для абонентов, чтобы общаться с людьми внутри и за пределами зоны бедствия.

Летающая сенсорная сеть (ЛСС) – одна из технологий, которая может использоваться как часть БЛСЭС (рис. 1) [6, 7, 8, 9].



Рис. 1. Архитектура БЛСЭС для сбора данных со сенсорного поля

Задача этого сегмента – охватить обширную территорию с ограниченным доступом. В общем, ЛСС может обеспечивать передачу голоса/видео и данных с использованием летающих базовых станций, которые передают полезную нагрузку через гетерогенные шлюзы, используя принцип беспроводных сенсорных сетей (БСС). ЛСС основан на двух подсистемах – «летающей» и «наземной». Подсистема «наземной» включает в себя набор сенсорных узлов, которые взаимодействуют с различными объектами (узлы также могут быть расположены удаленно), в то время как подсистема «летающей» представлена летающими объектами, такими как БПЛА, дрон и квадрокоптер. Ключевой задачей подсистемы «летающей» является обмен и передача трафика между летающими узлами.

На рис. 1 показана архитектура быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб для сбора данных с сенсорного поля, в которой используются один или несколько БПЛА. Взаимодействие связи между БПЛА может быть осуществляться с помощью технологии IEEE 802.11p, которая позволяет создавать иерархическую специальную беспроводную сеть с мобильными узлами.

На рис. 2 показана архитектура БЛСЭС, в которой несколько БПЛА образуют летающую сеть.

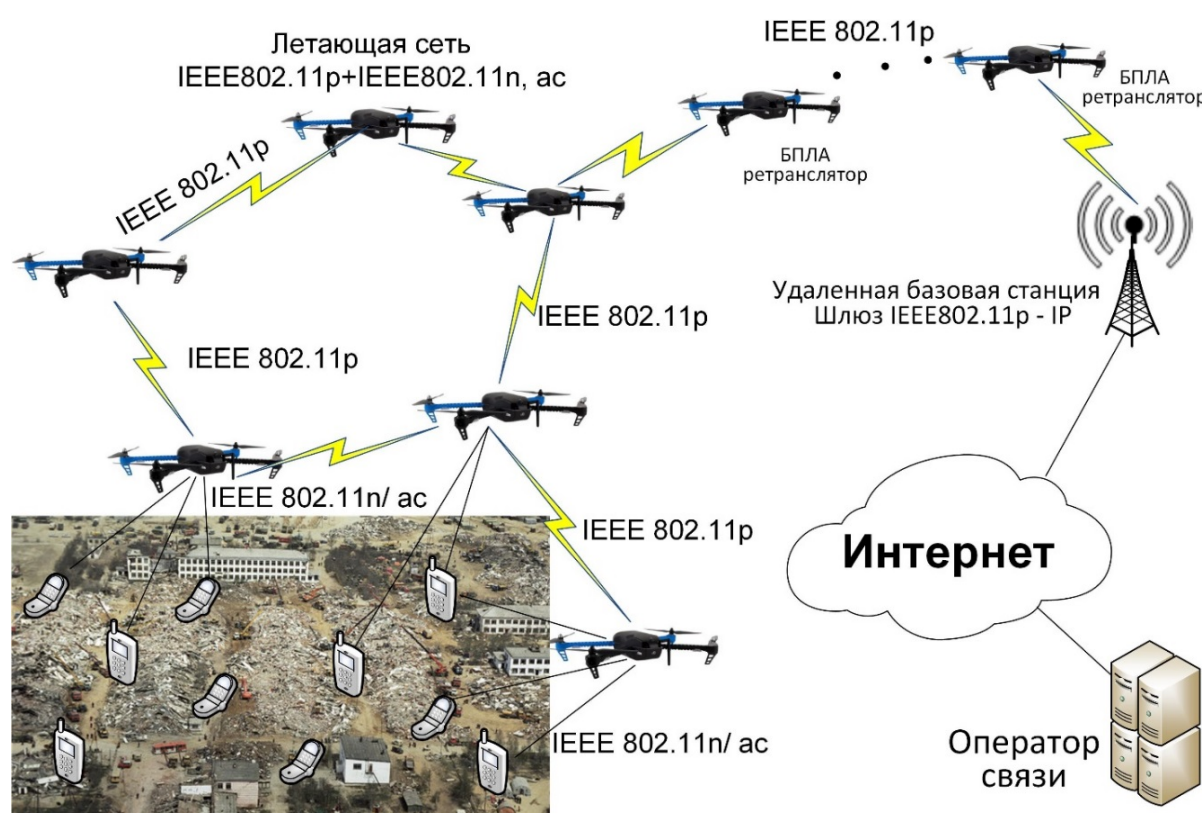


Рис. 2. Архитектура БЛСЭС для обеспечения связи между абонентами

Предполагается, что вся телекоммуникационная инфраструктура сетей подвижной связи в зоне бедствия разрушена, обычные мобильные звонки невозможны, и в этом случае наиболее эффективным решением является выполнение



звонков через Wi-Fi или voice over Wi-Fi (*VoWi-Fi*). Технология VoWi-Fi позволяет осуществлять звонки через Wi-Fi. Однако, обязательным условием применения технологии VoWi-Fi является полное покрытие зоны бедствия радиосигналом Wi-Fi. Предполагается использовать группы БПЛА с встроенными гетерогенными шлюзами как маршрутизаторы Wi-Fi, чтобы принимать и передавать голосовой трафик от абонентов к стационарной базовой станции и обратно. Связь между БПЛА основана на протоколе IEEE 802.11p с модификацией CMMrP [10, 11]. Данный подход позволит возможность создать иерархическую специальную беспроводную сеть с мобильными узлами. Функцию абонентской базовой станции будет выполнять маршрутизатор Wi-Fi, поддерживающий IEEE 802.11n или IEEE 802.11ac. Голосовой трафик с телефона абонента передается по цепочке БПЛА на основе IEEE 802.11p с модификацией CMMrP на удаленную базовую станцию IEEE802.11p – IP, где голосовой трафик обрабатывается и отправляется через интернет оператору связи. Все звонки осуществляются через оператора с сохранением нумерации и идентификации абонентов сетей мобильной связи.

На рис. 3 показана иерархическая структура БПЛА для предоставления голосовых услуг.

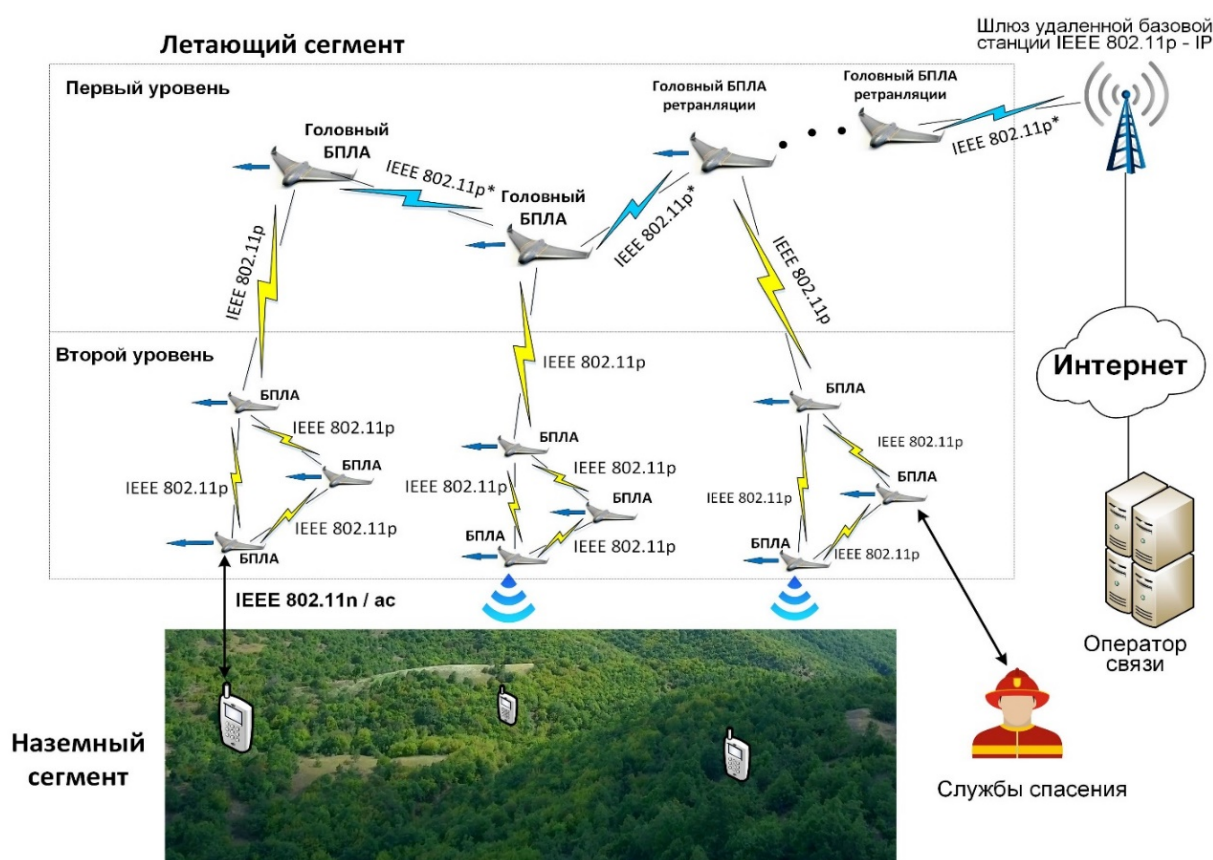


Рис. 3. Иерархическая структура БПЛА в БЛСЭС для предоставления голосовых услуг

Поскольку расстояние между пострадавшими и положением сотрудника экстренной службы значительно, для обеспечения связи требуется большое количество БПЛА. Однако, чем больше количества БПЛА, через которые данные передаются, тем больше будет сетевая задержка, которая снижает качество передачи голосового трафика. Чтобы избежать от этой проблем, предполагается использование иерархической структура в летающем сегменте, которая состоит из двух уровней. На первом уровне, используются головные БПЛА как головные узлы в летающей сети а на втором уровне находят члены БПЛА в группе, соединяющихся с головными БПЛА. Члены БПЛА свяжутся с абонентами и ищут кратчайший маршрут для передачи данных своему головному БПЛА. Потом головной БПЛА передает данные на стационарную базовую станцию через другие головные БПЛА. Таким образом, использование двух уровней иерархии уменьшается количество транзитных БПЛА поэтому повышается качества обслуживания.

Более того, БПЛА с встроенными гетерогенными шлюзами являются точки доступа Wi-Fi, поддерживающая стандарты Wi-Fi (IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11p), для абонентов. Связь между БПЛА и мобильными телефонами пострадавших основана на стандарте IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac.

В настоящее время, большинство мобильных телефонов поддерживают технологии IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac и технология VoWiFi становится более популярной и поддерживается операторами связи не только в России а в многих других странах. Когда мобильный телефон поддерживает режим VoWi-Fi, он может совершать звонки через Wi-Fi при организации летающей сети с поддержкой этих технологий. Звонки VoWi-Fi совершаются через оператора с сохранением нумерации и идентификации абонентов сети мобильной связи. Голосовой трафик с телефона абонента передается по цепочке БПЛА на основе IEEE 802.11p с модификацией CMMrP на удаленную базовую станцию IEEE 802.11 – IP, где голосовой трафик обрабатывается и отправляется через интернет оператору связи. Связь между головными и членами БПЛА в группе первого уровня и между членами БПЛА второго уровня основан на стандарте IEEE 802.11p с модификацией CMMrP, который был разработан для беспроводной передачи информации между БПЛА с поддержкой самоорганизации. Связь между головными БПЛА в разных группах осуществляется по технологии IEEE 802.11p в расширенном режиме, в рамках которого данные могут передаваться на расстояние до 740 м.

### **Архитектуры для длительного использования БЛСЭС на базе привязанных высотных беспилотных платформ**

Привязные высотные беспилотные платформы (ПВБП) предназначены для подъема и длительного удержания телекоммуникационной полезной нагрузки на высоте до 500 м [12, 13, 14]. Их длительная работа обеспечивается передачей электроэнергии от наземного источника к полетному модулю по тонкому кабельному канату для питания силовых установок и бортового телекоммуникационного оборудования. Длительная работа высотного беспилотного модуля на базе двигателей внутреннего сгорания может быть обеспечена за счет подачи топлива от наземного компрессора. Таким образом, ПВБП занимают промежуточное положение между

спутниковыми системами и наземными системами, оборудование которых (базовые станции сотовой связи, радиорелейное, радиолокационное оборудование и т. д.) размещено на высотных сооружениях. ПВБП по сравнению с дорогими спутниковыми системами являются высокоэффективными с точки зрения затрат, а с наземными системами превосходят обширность области телекоммуникаций и видеопокрытия.

Пример использования ПВБП представляется на рис. 4.

ПВБП состоит из наземного и летающего модулей. Наземный модуль состоит из наземной станции управления высотной платформой (НСУ), преобразователя напряжения земли, лебедки привязного троса высотной платформы и швартовного устройства (рис. 5, см. ниже).

ПВБП обеспечивают решение следующих задач:

- быстрое развертывание современной телекоммуникационной инфраструктуры на обширной территории в аварийных условиях при разрушении средств связи (в этом случае на борту летающего модуля устанавливается базовая станция LTE);
- организация высокоскоростной беспроводной связи на большие расстояния в прямой видимости (для этого на летающем модуле устанавливается радиорелейное оборудование или точка доступа IEEE 802.11);
- осуществление функций управления и контроля группы БПЛА, а также координация работы летающей сети, обеспечивающей услуги связи и передачи данных;
- осуществление функций экологического мониторинга, борьбы с лесными пожарами, видеонаблюдения за массовыми мероприятиями и др. (на летающем модуле установлена аппаратура ночного и дневного видения, мониторинга окружающей среды и др.);
- управление беспилотными наземными мобильными роботами во время поисково-спасательных операций, при обеспечении функционирования наземных беспилотных транспортных средств и т. д. (для этих случаев использования на борту летного модуля устанавливаются беспроводная связь, радиочастотная идентификация, Интернет вещей, видеоаппаратура);
- обнаружение несанкционированных полетов БПЛА в целях обеспечения безопасности критически важных объектов (на борту летающего модуля установлено видео-и радиолокационное оборудование).

Далее рассматриваются различные сценарии использования ПВБП в БЛСЭС.

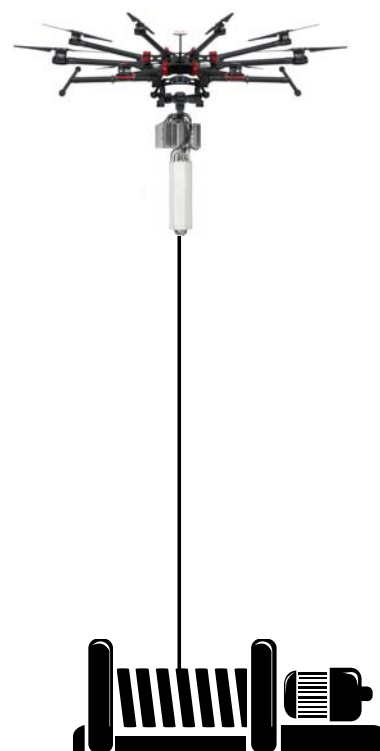


Рис. 4. Пример использования привязанной высотной беспилотной платформы



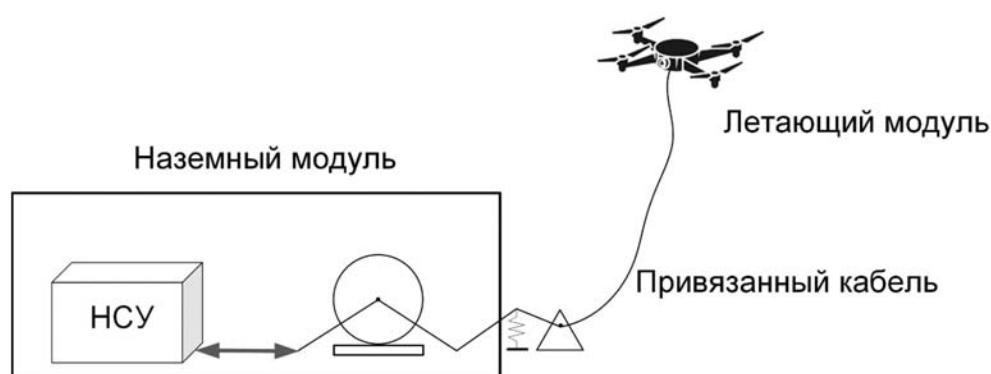


Рис. 5. Структура привязанной высотной беспилотной платформы

### 1 Сбор данных от наземного сегмента БЛСЭС с использованием пБПЛА

В ходе поисково-спасательной операции, в зоне бедствия, мобильные базовые станции (МБС) развернут группу БПЛА в районах вокруг себя для сбора информации, включая привязанный БПЛА (пБПЛА). Все БПЛА оснащены гетерогенным шлюзом, которые поддерживают разные наборы протоколов и технологии передачи. БПЛА может собирать данные от узлов на сенсорных полях с помощью таких технологий, как ZigBee, 6LoWPAN, LoRa, BLE, NB-IoT и т. д. Потом данные могут передаваться к базовой станции через цепочку БПЛА с помощью технологии IEEE 802.11p. Используя пБПЛА, который имеет длительное рабочее время, данные могут передаваться на МБС через IEEE 802.11p, LTE-A или LoRa, в зависимости от конкретной ситуации (рис. 6).

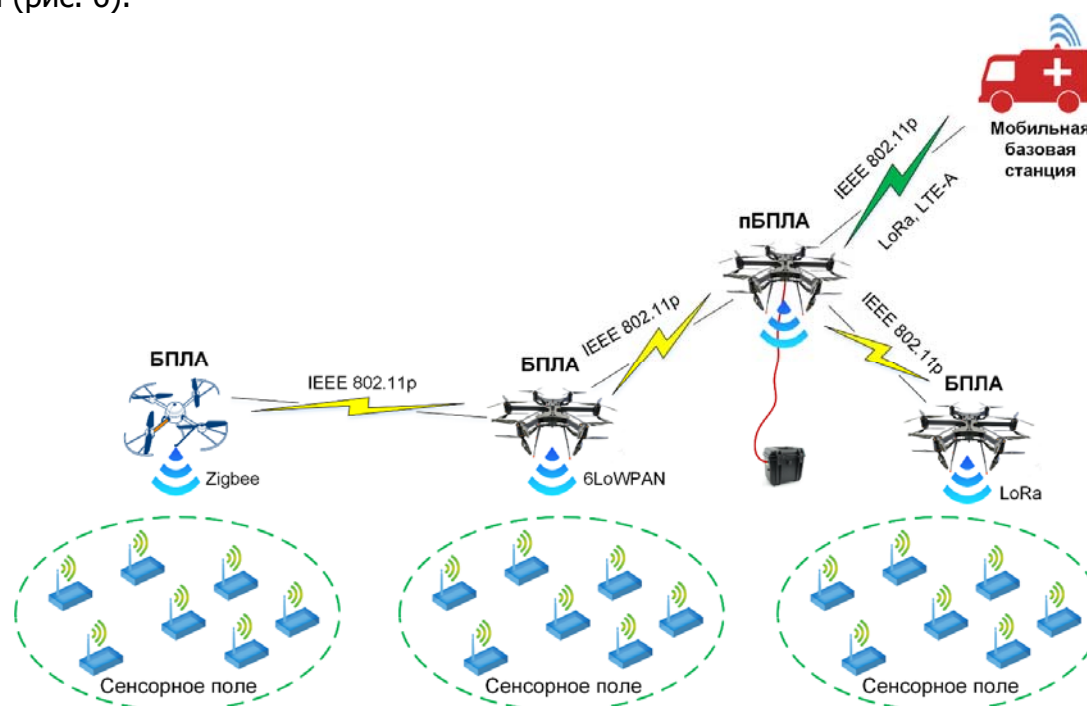
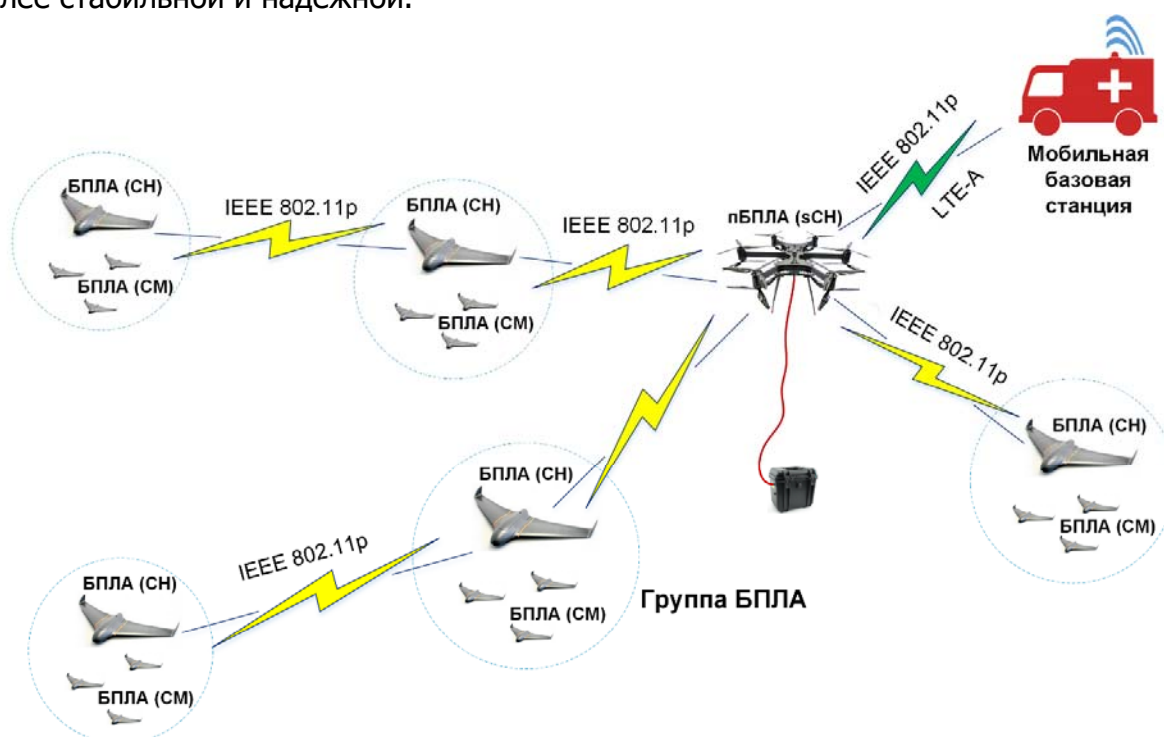


Рис. 6. Архитектура сбора данных от наземного сегмента быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных случаев с использованием пБПЛА

## 2 Взаимодействие в БЛСЭС с использованием пБПЛА

В БЛСЭС, связь между БПЛА в группе и между группами БПЛА является очень критическим фактором. Технология IEEE 802.11p с модификацией CMMrP была разработана для решения этих проблем. Кроме того, пБПЛА может использоваться в данной сети, которая представлена на рис. 7. пБПЛА может стать супер-головными узлами, которые могут получать информацию от головных узлов в группах, или могут заменить головной узел, когда все БПЛА в группе не могут быть головным узлом. Более этого, со своими преимуществами пБПЛА может нести модули LTE для поддержки передачи данных с технологией LTE-A. Поэтому пБПЛА может обеспечить связь в зоне бедствия, который должен был поддерживать разрушенные базовые станции сотовой связи. Таким образом, с использованием пБПЛА, сеть связи станет более стабильной и надежной.



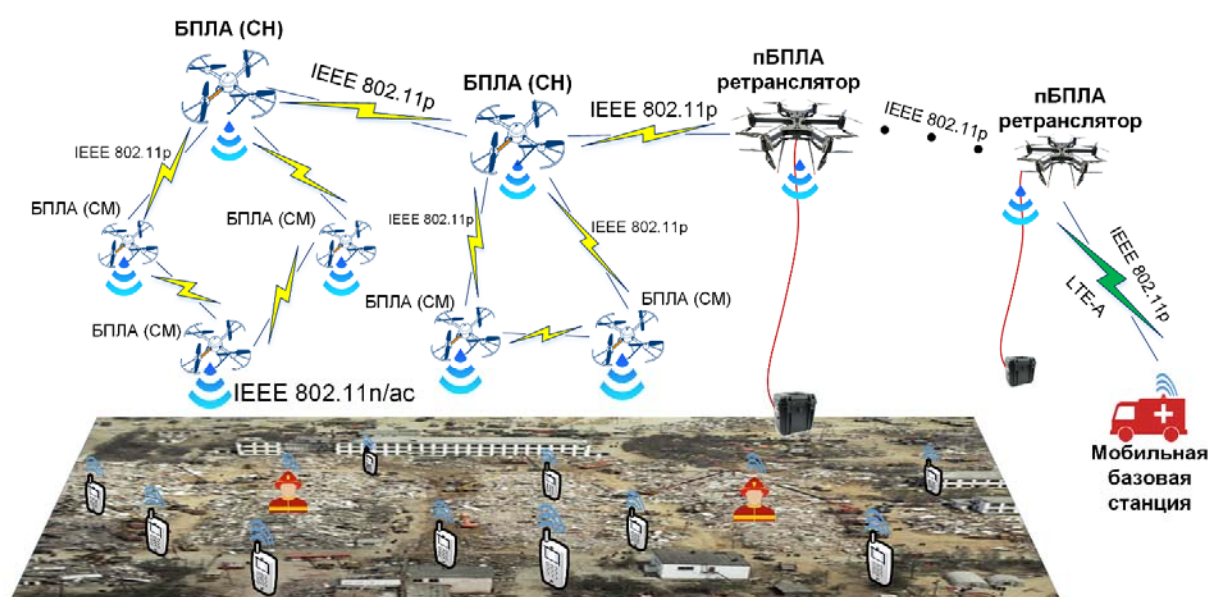
БПЛА (СН) – БПЛА (головной узел - cluster head);  
 БПЛА(СМ) – БПЛА (член узлы - cluster member);  
 пБПЛА(сСН) – привязанный БПЛА (супер-головной узел - super cluster head)

Рис. 7. Архитектура взаимодействия БЛСЭС с использованием пБПЛА

## 3 Передача мультимедиа по БЛСЭС с использованием пБПЛА

пБПЛА как другие БПЛА могут быть участвовать в процессе мультимедийных передачах по БЛСЭС. Предполагается, что в зоне бедствия два абонента хотят звонить друг другу через VoWi-Fi с помощью группы БПЛА. Примером такого вызова может быть соединение сотрудника службы экстренной помощи с абонентами в зоне

бедствия. Согласно алгоритмам работы мобильных телефонов, при отсутствии связи с базовой станцией, мобильные телефоны переходят в режим сканирования доступной публичной сети Wi-Fi (IEEE 802.11n и IEEE 802.11ac), которая создается в БЛСЭС. Звонок между двумя абонентами будет осуществляться через цепочку БПЛА с помощью технологии IEEE 802.11p и подключаться к оператору мобильной связи для установления вызова (рис. 8).



БПЛА (СН) – БПЛА (головной узел - cluster head);  
 БПЛА(СМ) – БПЛА (член узлы - cluster member);  
 пБПЛА – привязанный БПЛА

Рис. 8. Архитектура передача мультимедиа по БЛСЭС с использованием пБПЛА

## Заключение

В данной статье показана общая структура быстроразворачиваемой летающей сети для экстренных служб (БЛСЭС), которая будет использоваться в случае стихийного бедствия. В ней описываются различные технологии, которые могут использоваться как часть этой сети, в том числе: всепроникающая сенсорная сеть, беспилотные летательные аппараты, Интернет вещей (IoT) и летающая сенсорная сеть. Также определены функциональные элементы сети БЛСЭС в чрезвычайных ситуациях и изложены требования к услугам и протоколам. Рассмотрены различные архитектуры БЛСЭС, который состоит из множества БПЛА, а также привязанные БПЛА для повышения эффективности работы системы. Такие решения были использованы при подготовке вкладов СПбГУТ для 11-й Исследовательской комиссии Сектора стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи «Требования к сигнализации, протоколы, спецификации тестирования и борьба с контрафактными продуктами» в проект Рекомендации МСЭ-Т Q.ETN-DS «Архитектура сигнализации

для быстроразворачиваемой сети для использования в случае стихийного бедствия».

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70059.*

### Литература

1. Lilja, J.; Pynttari, V.; Kaija, T.; Mäkinen, R.; Halonen, E.; Sillanpää, H.; ... & de Maagt, P. Body-worn antennas making a splash: Lifejacket-integrated antennas for global search and rescue satellite system // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2013. 55(2), pp. 324–341.
2. Dinh, T. D.; Pirmagomedov, R.; Pham, V. D.; Ahmed, A. A.; Kirichek, R.; Glushakov, R.; & Vladuko, A. Unmanned aerial system-assisted wilderness search and rescue mission // International Journal of Distributed Sensor Networks. 2019. Vol. 15 (6), pp. 1–15.
3. Kulik, V., Muthanna A., Pham V. D., Hakimov A., Kirichek R., Pirmagomedov R. The study of semantic gateway performance // Электросвязь. 2017. № 6. С. 69–73.
4. Динь З., Киричек Р. В. Метод организации гетерогенного летающего шлюза для обслуживания устройств Интернета вещей с низким энергопотреблением // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина). 2017. С. 204–205.
5. Динь Ч. З., Киричек Р. В. Подходы к организации мобильных гетерогенных шлюзов на базе беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017). VI Международная научно-техническая и научно-методическая конференция : сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2017. Т. 2. С. 260–265.
6. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Богданов И. А., Дорт-Гольц А. А. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. 2–5.
7. Koucheryavy, A.; Vladuko, A.; Kirichek, R. State of the art and research challenges for public flying ubiquitous sensor networks / Lecture Notes in Computer Science (LNCS). — Vol. 9247. 2015. pp. 299–308.
8. Kirichek, R.; Paramonov, A.; Koucheryavy, A. Swarm of public unmanned aerial vehicles as a queuing network // In: Vishnevsky, V., Kozyrev, D. (eds.) DCCN 2015. CCIS. Springer, Cham. 2016. V. 601. pp. 111–120.
9. Dinh, T. D.; Kirichek, R.; & Koucheryavy, A. Flying network for emergencies // In International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. Springer, Cham. 2018. pp. 58–70.
10. Dinh, T. D.; Le, D. T.; Tran, T. T. T.; & Kirichek, R. Flying Ad-Hoc Network for Emergency Based on IEEE 802.11p Multichannel MAC Protocol // In International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. Springer, Cham. 2019. pp. 479–494.
11. Динь Ч. З., Киричек Р. В. Метод обнаружения координат абонентов при отсутствии инфраструктуры сетей операторов связи с использованием летающей сети на базе группы БПЛА // Электросвязь. 2020. № 3. С. 40–48.
12. Vishnevsky, V.; & Meshcheryakov, R. Experience of Developing a Multifunctional Tethered High-Altitude Unmanned Platform of Long-Term Operation // In International Conference on Interactive Collaborative Robotics. Springer, Cham. 2019. pp. 236–244.
13. Vishnevsky, V.; Tereschenko, B.; Tumchenok, D.; & Shirvanyan, A. Optimal method for uplink transfer of power and the design of high-voltage cable for tethered high-altitude unmanned telecommunication platforms // In International Conference on Distributed Computer and Communication Networks. Springer, Cham. 2017. pp. 240–247.
14. Grishin, I.; Vishnevsky, V.; Dinh, T. D.; Vybornova, A.; & Kirichek, R. Methods for correcting positions of tethered UAVs in adverse weather conditions. In 2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2020. pp. 308–312.

## References

1. Lilja, J.; Pynttari, V.; Kaija, T.; Mäkinen, R.; Halonen, E.; Sillanpää, H.; ... & de Maagt, P. Body-worn antennas making a splash: Lifejacket-integrated antennas for global search and rescue satellite system // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2013. 55(2), pp. 324–341.
2. Dinh, T. D.; Pirmagomedov, R.; Pham, V. D.; Ahmed, A. A.; Kirichek, R.; Glushakov, R.; & Vladko, A. Unmanned aerial system–assisted wilderness search and rescue mission // *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2019. Vol. 15 (6), pp. 1–15.
3. Kulik, V., Muthanna A., Pham V. D., Hakimov A., Kirichek R., Pirmagomedov R. The study of semantic gateway performance // *Electrosvyaz*. 2017. No 6. pp. 69–73.
4. Din Z., Kirichek R. V. Metod organizatsii geterogennogo letayushchego shlyuza dlya obsluzhivaniya ustroystv Interneta veshchey s nizkim energopotrebleniyem // 72-ya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. posvyashchennaya Dnyu radio. SPb.: SPbGEU «LETI» im. V. I. Ulianova (Lenina). 2017. S. 204–205.
5. Dinh C., Kirichek R. Approaches to the Organization of Heterogeneous Mobile Gateways Based on Unmanned Aerial Vehicles // 6th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2020), 2017. V. 2. pp. 260–265.
6. Koucheryavy, A. E., Vladko, A. G., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Prokopiev, A. V., Bogdanov, I. A., Dort-Goltz, A. A. Flying Sensor Networks // *Electrosvyaz*. 2014. No. 9. pp. 2–5.
7. Koucheryavy, A.; Vladko, A.; Kirichek, R. State of the art and research challenges for public flying ubiquitous sensor networks / *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*. Vol. 9247. 2015. pp. 299–308.
8. Kirichek, R.; Paramonov, A.; Koucheryavy, A. Swarm of public unmanned aerial vehicles as a queuing network // In: Vishnevsky, V., Kozyrev, D. (eds.) *DCCN 2015*. CCIS. Springer, Cham. 2016. V. 601. pp. 111–120.
9. Dinh, T. D.; Kirichek, R.; & Koucheryavy, A. Flying network for emergencies // In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*. Springer, Cham. 2018. pp. 58–70.
10. Dinh, T. D.; Le, D. T.; Tran, T. T. T.; & Kirichek, R. Flying Ad-Hoc Network for Emergency Based on IEEE 802.11p Multichannel MAC Protocol // In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*. Springer, Cham. 2019. pp. 479–494.
11. Dinh T. D., Kirichek R. V. Method for Detecting the Coordinates of Subscribers in the Absence of Communication Infrastructure of Network Operators using a Flying Network Based on a Group of Uavs // *Electrosvyaz*. 2020. No 3. pp. 40–48.
12. Vishnevsky, V.; & Meshcheryakov, R. Experience of Developing a Multifunctional Tethered High-Altitude Unmanned Platform of Long-Term Operation // In *International Conference on Interactive Collaborative Robotics*. Springer, Cham. 2019. pp. 236–244.
13. Vishnevsky, V.; Tereschenko, B.; Tumchenok, D.; & Shirvanyan, A. Optimal method for uplink transfer of power and the design of high-voltage cable for tethered high-altitude unmanned telecommunication platforms // In *International Conference on Distributed Computer and Communication Networks*. Springer, Cham. 2017. pp. 240–247.
14. Grishin, I.; Vishnevsky, V.; Dinh, T. D.; Vybornova, A.; & Kirichek, R. Methods for correcting positions of tethered UAVs in adverse weather conditions. In *2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)*. 2020. pp. 308–312.

**Динь Чыонг Зюи** – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [duydt.sut@gmail.com](mailto:duydt.sut@gmail.com)

**Dinh Truong** – Postgraduate student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [duydt.sut@gmail.com](mailto:duydt.sut@gmail.com)

**Киричек Руслан Валентинович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [kirichek.sut@mail.ru](mailto:kirichek.sut@mail.ru)

**Kirichek Ruslan** – Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [kirichek.sut@mail.ru](mailto:kirichek.sut@mail.ru)