ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ БПЛА С ПОДДЕРЖКОЙ SDN/NFV ТЕХНОЛОГИЙ

В. Н. Коваленко, А. А. Алзагир, А. С. А. Мутханна*

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

*Адрес для переписки: ammarexpress@gmail.com

Аннотация—Предмет исследования. Интеграция в сети Беспилотных Летательных Аппаратов технологий программно-конфигурируемых сетей SDN и виртуализации сетевых функций NFV. **Метод** исследования – анализ стандартов и рекомендаций в области технологий SDN, NFV и построения сетей БПЛА. **Основные результаты.** Представлены основные преимущества от внедрения в сеть БПЛА технологий SDN и NFV, два способа организации архитектуры сети БПЛА с поддержкой технологии SDN: когда функции контроллера SDN выполняет Базовая станция, и когда в качестве контроллеров SDN используются воздушные балуны. В данной работе также были сравнены технологии программно-конфигурируемых сетей и виртуализации сетевых функций. **Практическая значимость.** В данной работе предоставлено подробное описание структуры и возможностей применения сетей БПЛА, функциональных схем SDN и NFV. Представленные в данной работе сетевые архитектуры с использованием контроллеров SDN в летающем (воздушные балуны) и наземном (Базовые станции) сегменте являются примерами внедрения технологии SDN в сеть БПЛА.

Ключевые слова—БПЛА, сети БПЛА, наземный и летающий сегмент, SDN, контроллер и коммутатор SDN, OpenFlow, NFV, NFVI, VNF, MANO, 5G/IMT-2020, абстракция, виртуализация, базовая станция.

Информация о статье

УДК 004.77

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 16.08.20, принята к печати 23.09.20.

Ссылка для цитирования: Коваленко В. Н., Алзагир А. А., Мутханна А. С. А. Построение сети БПЛА с поддержкой SDN/NFV технологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 3. С. 71–85. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-71-85.

BUILDING A UAV NETWORK WITH SUPPORT FOR SDN / NFV TECHNOLOGIES

V. Kovalenko, A. A. Alzaghir, A. Muthanna*

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

*Corresponding author: ammarexpress@gmail.com

Abstract—Research Subject - integration of software-defined networks (SDN) and network functions virtualization (NFV) technologies in the unmanned aerial vehicle networks. **Method** – analysis of standards and recommendations in the field of SDN, NFV technologies and construction of UAV networks. **Core results** – presents the main advantages of introducing SDN and NFV technologies into the UAV networks, two ways of organizing the UAV network architecture with SDN technology support: when the Base Station performs the functions of an SDN controller, and when air balloons are used as SDN controllers. This paper also compared the technologies of software-defined networking and virtualization of network functions. **Practical relevance** – this paper provides a detailed description of the structure and application possibilities of UAV networks, functional diagrams of SDN and NFV. The network architectures presented in this paper using SDN controllers in the flying (air balloon) and ground (Base stations) segment are examples of the implementation of SDN technology in a UAV network. of SDN and NFV technologies, and also considers the application of these technologies in UAV networks.

Keywords—UAV, UAV networks, ground and flying segment, SDN, SDN controller and switch, Open-Flow, NFV, NFVI, VNF, MANO, 5G/IMT-2020, abstraction, virtualization, base station.

Article info

Article in Russian.

Received 16.08.20, accepted 23.09.20.

For citation: Kovalenko V., Alzaghir A. A., Muthanna A.: Building a UAV network with support for SDN / NFV technologies // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 3. pp. 71–85 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-71-85.

Введение

Развитие сетей связи не стоит на месте. В настоящее время появляется все больше новых технологий стремящихся упростить и автоматизировать повседневную деятельность человека. Одной из таких перспективных технологий, применимых в сетях нового пятого поколения связи 5G/IMT-2020, являются сети беспилотных летающих аппаратов или БПЛА (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*). Развитие сетей БПЛА позволило обеспечить сбор данных с автономных сенсорных устройств. Сети такого вида находят применения в самых разнообразных сферах жизнедеятельности, например в сельском хозяйстве.

В настоящее время сети БПЛА обладают широкими возможностями применения. Рассмотрим три возможных сценария использования сетей БПЛА [1]:

1. *Увеличение зоны покрытия.* БПЛА в данном сценарии могут применяться либо для разгрузки определенных участков сети с повышенным количеством устройств пользователей (данном случае участки сети могут быть перегружены

большими объемами пользовательского трафика), а также для быстрого восстановления связи в зонах, в которых сетевая инфраструктура была полностью или частично повреждена из-за возникновения различных стихийных бедствий (таких как наводнение или землетрясение).

2. *Для ретрансляции информации.* БПЛА применяются для передачи данных между достаточно удаленными пользователями, между которыми не может быть организована стандартная архитектура сетей связи.

3. *Опрос и сбор данных с сенсорных полей.* В данном сценарии БПЛА применяются для сбора информации от наземных сенсорных устройств.

Архитектура сетей БПЛА

Сети БПЛА являются беспроводными сенсорными сетями и состоят из двух сегментов [1]:

- летающего, организованного как одиночными БПЛА, так и их группами,
- наземного. В качестве устройств примера устройств наземного сегмента можно рассматривать различные сенсорные датчики, которые могут как поддерживать самоорганизацию узлов сети (сенсоры, взаимодействующие друг с другом с помощью протоколов BLE, 6LoWPAN, ZigBee), так и не поддерживать (RFID, Wi-Fi, LoRa).

Особого внимания заслуживает то, что и наземный, и воздушный сегменты могут быть реализованы архитектурно как одноранговые, так иерархические (или кластерные) сети. При этом в качестве головного узла кластеров наземного сегмента могут выступать отдельные БПЛА.

Первоначально для выполнения поставленных задач использовалась сеть, состоящая из одного БПЛА и одного или небольшого количества наземных устройств, однако в настоящее время для выполнения различных задач как гражданской, так и военной сфер деятельности требуется организовывать сети, летающий сегмент которых будет состоять из нескольких БПЛА.

Одним из возможных преимуществ сетей БПЛА является предоставление возможности организации связи в реальном времени без необходимости в предоставлении какой-нибудь инфраструктуры. Основные же проблемы сетей БПЛА связаны с:

- Значительными потерями пакетов данных, высокими задержками или возможностью нарушения процесса передачи информации, вызванными высокой мобильностью БПЛА.
- Ограниченностью энергетических ресурсов БПЛА, что также может послужить причинами возможных сбоев и нарушения работы сети.

Поэтому обеспечение связности (в особенности между отдельными БПЛА), а также снижение потребления энергии являются важными задачами в сетях БПЛА.

Для организации нормально функционирующей сети БПЛА потребуется определить, как будут взаимодействовать БПЛА с наземным сегментом. Взаимодействие нескольких БПЛА потребует также организации в летающем сегменте сети связи между отдельными беспилотными летающими аппаратами [2]. Беспилотные летающие аппараты данной сети могут взаимодействовать друг с другом с помощью наземных станций управления. Существует множество примеров архитектур сетей БПЛА, но в данной статье предлагается рассмотреть следующие

три архитектуры (в которых БПЛА взаимодействуют друг с другом благодаря базовым станциям): централизованную, кластерную и сотовую.

1. Централизованная архитектура

В данной архитектуре несколько БПЛА обмениваются информацией с одной наземной базовой станцией, другими словами при взаимодействии БПЛА между собой все пакеты данных передаются через наземную базовую станцию. Преимущества: отказоустойчивость при сбоях отдельных БПЛА, параллельное выполнение задач, улучшение вычислительных и запоминающих характеристик. Недостатки: пропорциональность пропускной способности сети плотности БПЛА, высокие задержки, а также уязвимость наземных базовых станций.

2. Архитектура кластеризации

В данной архитектуре летающий сегмент разбит на несколько кластеров, в которой один из БПЛА выбирается в качестве головного узла и обеспечивает взаимодействие всех БПЛА в пределах одного кластера, а также взаимодействие БПЛА кластера с наземной базовой станцией. Преимущества архитектуры: поддержка БПЛА с разными характеристиками связи и полета. Недостатки: возможность разделения БПЛА (невозможности БПЛА одного кластера взаимодействовать с БПЛА другого кластера) при частичном или полном повреждении базовой станции.

3. Сотовая архитектура

Данная архитектура разделяет наземный сегмент на несколько ячеек, в каждой из которых используется собственная уникальная полоса частот, что позволяет предотвратить влияние помех от других ячеек. БПЛА могут взаимодействовать между собой как с использованием базовых станций, так и без их помощи. Возникающие проблемы: высокая стоимость наземных базовых станций и их возможное повреждение.

Программно-конфигурируемые сети SDN (*Software Defined Networks*)

Начало развитию программно-конфигурируемых сетей было положено, когда данная концепция была предложена в 2006 году сотрудниками и специалистами из Стэнфордского и Калифорнийского университета в Беркли. На данный момент времени такие организации, как ONF (*Open Networking Foundation* – Открытый Фонд Сетевых Технологий), IETF (*Internet Engineering Task Force* – Рабочая группа по инженерным задачам Интернета) и МСЭ-Т (Сектор стандартизации международного союза электросвязи) обладают собственными определениями концепции SDN.

Например, по мнению ONF, программно-конфигурируемые сети представляют собой сетевую структуру с возможностями адаптации и динамического управления, в которой уровень передачи информации отделен от уровня управ-

ления, что также позволяет осуществлять программное управление сетью и абстрагировать уровень приложений и услуг (сетевых сервисов) от уровня инфраструктуры сети^{1, 2}.

IETF в своем стандарте RFC 7426 рассматривает SDN, как подход построения структур сети, в основе которого лежит прямое управление сетями и их ресурсами, и который благодаря собственным средствам обработки, программного управления и администрирования за счет открытых сетевых интерфейсов и изоляции от уровня сети обеспечивает распределение ресурсов и сетей³.

Для лучшего понимания концепции программно-конфигурируемых сетей предлагается рассмотреть функциональную схему взаимодействия элементов сети SDN. Функциональную схему SDN можно рассматривать с трех позиций: относительно разделения уровней сетевой структуры, относительно интерфейсов сети, или относительно применения абстрактной архитектуры^{4, 5} (рис. 1).

Рис. 1. Функциональная архитектура SDN

¹ Сетевые технологии SDN – Software Defined Networking [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/company/muk/blog/251959/>

² Программно-конфигурируемые сети | Открытые системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491>

³ Recommendation Y.3300 Framework of software-defined networking, Geneva. – June 2014.

⁴ Сетевые технологии SDN – Software Defined Networking [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/company/muk/blog/251959/>

⁵ Программно-конфигурируемые сети | Открытые системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491>

Уровни SDN архитектуры

Чаще всего сетевая архитектура SDN представлена уровнями данных, управления и приложений^{6, 7}.

Уровень приложения (*Application Layer*) ответственен за реализацию услуг и сервисов, управляющих работой сети. К ним относятся функции мониторинга и оптимизации, обеспечение безопасности сети, поддержание определенного уровня качества обслуживания (QoS), конфигурирование сетевых параметров и многое другое. За реализацию уровня управления и его развертывание ответственен контроллер программно-конфигурируемых сетей. Предоставляемые данным уровнем услуги и приложения обладают большим влиянием на трафик данных SDN устройств при передаче инструкция и требований.

На уровне управления (*Control Layer*) реализуется логика управления сетью, осуществляется эффективное реагирование на изменение трафика и возникающие в сети сбои. Целью данного уровня также является обеспечение надежности всей сетевой структуры. Уровень управления также осуществляет формирование таблиц потоков, которые размещаются на сетевых устройствах и используются для передачи пакетов данных.

Основные функции плоскости управления осуществляются централизованным устройством – контроллером SDN. Контроллер ответственен за реализацию всех необходимых для правильной работы сети протоколов. Уровень управления может быть реализован как одним, так и несколькими контроллерами.

Уровень данных (*Infrastructure layer*) ответственен за передачу пакетов данных конечным пользователям с использованием сетевых устройств (таких как, например, коммутаторы и маршрутизаторы).

Управление пересылкой осуществляется благодаря применению правил и инструкций, позволяющих уровню управления изменять, отбрасывать или отправлять пакеты данных. Стоит отметить, что для обеспечения правильной передачи данных по всей сети, за пересылку пакетов должны отвечать сетевые устройства.

Интерфейсы программно-конфигурируемых сетей

Открытый Фонд Сетевых Технологий к сетевой структуре SDN относит три компонента SDN контроллер, «Северный интерфейс» (*Northbound API*) и «Южный интерфейс» (*Southbound API*)^{8, 9, 10}.

Контроллер SDN отвечает за логически централизованное конфигурирование и управление сетью, за построение и отображение топологии, а также предоставляет приложениям возможность управлять сетевыми ресурсами через абстрактные представления (сущности). Следует отметить, что контроллер SDN

⁶ Сетевые технологии SDN – Software Defined Networking [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/company/muk/blog/251959/>

⁷ Программно-конфигурируемые сети | Открытые системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491>

⁸ Сетевые технологии SDN – Software Defined Networking [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/company/muk/blog/251959/>

⁹ Программно-конфигурируемые сети | Открытые системы. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/os/2012/09/13032491>

¹⁰ Recommendation Y.3300 Framework of software-defined networking, Geneva. – June 2014.

может предоставлять самые разнообразные виды интерфейсов для приложений. Они могут быть как объектно-ориентированные, так и более абстрактные. Например, REST API, или внутреннее API контроллера – Java API.

«Южный интерфейс» обеспечивает соединение с ресурсами сети, коммутаторами SDN. Данный интерфейс позволяет обеспечивать гибкое взаимодействие уровня управления и сетевых устройств уровня передачи данных, а также предоставлять возможность легко и быстро создавать и перенастраивать виртуальные сети.

Наиболее часто используемым протоколом является OpenFlow, стандартизируемый ONF и описывающий основы взаимодействия сетевых устройств плоскости передачи данных и контроллера плоскости управления. Для осуществления передачи пакетов данных в программно-конфигурируемой сети при использовании в качестве «Южного интерфейса» OpenFlow коммутаторы должны поддерживать работу по данному протоколу. Стоит отметить, что существует множество коммерческих решений помимо OpenFlow, осуществляющих взаимодействие плоскостей управления и передачи данных (они применяют в качестве «Южного интерфейса» проприетарные протоколы).

«Северный интерфейс» обеспечивает взаимодействие контроллера и приложений SDN. Именно «Северный интерфейс» интерпретирует логику бизнес-решений в сетевые инструкции. Бизнес-приложения передают контроллеру данные, которые в последствии могут использоваться при программировании сети. Также с помощью «северного интерфейса» приложениям и сервисам предоставляется информация о передаче данных или маршрутизации от уровня управления или уровня передачи данных.

Абстракция сетевой архитектуры

Применение модели абстракции для разделения уровней сетевой архитектуры SDN позволит не только снизить сложность реализации контроллера SDN и различных приложений, но также повысить их эффективность. Архитектура программно-конфигурируемых сетей может быть разделена на два уровня абстракции:

1. *Уровень абстракции устройства и ресурсов (DAL)*. Данный уровень позволяет отделить плоскость передачи пакетов данных и выполнения различных операций от плоскости управления и контроля. Также уровень абстракции DAL позволяет реализовать стандартные интерфейсы или поверх уровня данных, или внутри него.

2. *Сервисный уровень абстракции (SAL)*. Данный уровень применяется для:

- абстракции конфигурации плоскости данных от правил передачи пакетов данных;
- представления архитектуры сети в виде графа благодаря использованию набора функций по обработке пакетов информации;
- предоставления уровню управления возможности по сбору информации о текущем состоянии сети.

Виртуализация сетевых функций NFV

Согласно рекомендации МСЭ-Т, виртуализация сетевых функций (NFV – *Network Function Virtualization*) представляет собой технологию для создания логически изолированных участков сети с совместным использованием физических сетей, так что в данной сети одновременно могут сосуществовать многие виртуальные сети (т. н. LINP's – *Logically Isolated Network Partition*, логически изолированный участок сети)¹¹.

Особое значение в технологии NFV имеет определение виртуального ресурса (*Virtual resource*). Виртуальный ресурс – абстракция как физического, так и логического ресурса. При этом абстракция может иметь отличные от оригинального ресурса характеристики, а ее функциональные возможности могут быть связаны с функциональными возможностями самого ресурса.

К преимуществам NFV относятся [3].

1. Упрощенное развертывание и обновление программного обеспечения и оборудования.
2. Снижение стоимости благодаря применению стандартных серверов.
3. Возможность объединения отдельных сервисов в единую группу.
4. Возможность к быстрому масштабированию как программной, так и физической составляющей сети.
5. Миграция виртуальных машин.
6. Удобный мониторинг и контроль сетевой архитектуры.
7. Независимость от специализированного и дорогого оборудования поставщиков.

Архитектура сети с применением концепции NFV

Рассмотрим основные подсистемы технологии виртуализации сетевых функций. ETSI выделяет три подсистемы^{12, 13} [3]:

- Виртуальная сетевая функция (*Virtualized Network Function*) – программная реализация сетевой функции, работающая поверх NFVI. Система управления элементами (EMS) в данной подсистеме осуществляет управление функциональностью виртуальных сетевых функций. Для предоставления сетевых услуг в сфере связи, также называемых Service Chaining, можно объединить отдельные виртуальные сетевые функции внутри инфраструктуры NFV (рис. 2).

- Инфраструктура виртуализации сетевых функций (NFVI, *NFV Infrastructure*) представлена физическими устройствами, используемым для их объединения программным обеспечением, а также гипервизором, ответственного за функцию виртуализации для функционирования сетевых функций.

- Подсистема управление и оркестрации (MANO). NFV отвечает за оркестрацию и управления жизненным циклом как программных ресурсов, так и физических. Физические и программные ресурсы в свою очередь реализованы либо

¹¹ Обработка трафика в облаке. Кому нужна виртуализация сетевых функций (NFV)? [Электронный ресурс]: Хабр. 2015. URL: <https://habr.com/ru/post/266343/>

¹² Там же.

¹³ SDN и NFV: как это работает на сети оператора связи [Электронный ресурс]: Telecom & IT: блог. URL: <https://shalaginov.com/2015/12/27/sdn-и-nfv-как-это-работает-на-сети-оператора/>

NFVI, либо жизненным циклом виртуальных сетевых функций. Такой уровень автоматизации обеспечивается благодаря унифицированию интерфейсов взаимодействия систем, что приводит к использованию единой системы управления и мониторинга. Данный уровень подсистемы содержит три подуровня:

1. Менеджер VNF, управляющий жизненным циклом виртуальных сетевых функций.

2. Менеджер инфраструктуры NFV, ответственный за управление взаимодействием инфраструктуры NFV и виртуальных сетевых функций с вычислительными, запоминающими и сетевыми ресурсами.

3. Оркестратор, осуществляющий оркестровку и автоматизацию инфраструктуры виртуализации сетевых функций (оркестратор ответственен за выполнение таких функций как создание экземпляров и управление производительностью).

Рис. 2. Функциональная архитектура NFV

Сравнение SDN и NFV

По мнению исследовательского органа PPP (*5G Infrastructure Public Private Partnership, 3P и P3*), занимающегося исследованием сетей 5G, и SDN, и NFV являются ключевыми технологиями для организации сетей пятого поколения 5G/IMT-2020.

Стоит также отметить что технологии SDN и NFV не являются эквивалентными: их функции различаются, и они могут взаимно дополнять друг друга [4]. К примеру, технология SDN отделяет процесс управления коммутацией от процесса передачи данных, пересматривает сетевую архитектуру, то есть виртуализации подвергается сама сеть, в то время как технология NFV делает функции независимыми от поставщиков специализированного оборудования, подвергает пересмотру архитектуру сетевых компонентов, другими словами отвечает не за виртуализацию сети в целом, а за виртуализацию отдельных сетевых функций.

Данные концепции могут дополнять друг друга [5]. Например, SDN может предоставить программное сетевое взаимодействие виртуальных сетевых функций, что в свою очередь позволит более эффективно управлять сетевым трафиком. NFV, в свою очередь, может обеспечить виртуализацию контроллера SDN, что также позволит осуществлять динамическую миграцию контроллера SDN по сети БПЛА.

В таблице представлено сравнение технологий программно-конфигурируемых сетей и виртуализации сетевых функций.

Таблица.

Сравнение основных особенностей и характеристик концепций SDN и NFV

	SDN	NFV
Определение	Централизация управления сетью для обеспечения лучшей связи	Реализация функций сети программным способом.
Стандартизирующая организация	ONF	ETSI NFV группа.
Протоколы	OpenFlow	N/A.
Принципы функционирования	Отделение плоскости передачи данных от плоскости управления, централизованное управление сетью благодаря предоставлению возможности программирования	Отделение сетевых функций от самих устройств, что позволяет обеспечить независимость сетевых функций от аппаратной реализации сетевых устройств.
Задачи	Предоставление возможности по гибкому управлению сетевой инфраструктурой	Снижение энергопотребления, затрат OPEX и CAPEX.
Требования	Применение правил пересылки пакетов данных	Применение оркестровки для сетевых функций.
Возможные приложения	Cloud Orchestration	Шлюзы и брандмауэры, сеть передачи контента.
Размещение	Кампусы, облака, Центры обработки данных (ЦОД)	Сеть провайдера услуг.
Устройства	Различные коммутаторы и серверы	Различные коммутаторы и серверы.
Соответствующие уровни модели OSI	Уровни 2-3	Уровни 4-7.

	SDN	NFV
Предоставляемые клиентам преимущества	Снижение стоимости и сложности, а также увеличение гибкости сетевой архитектуры	Уменьшение затрат и повышение мобильности.
Инициаторы для бизнес-решений	ИТ предприятия	Поставщик услуг.
Сторонники главной инициативы	Поставщики как программного, так и аппаратного обеспечения для корпоративных сетей	Операторы сетей связи.

Применение концепций SDN и NFV в сетях БПЛА

На данный момент времени при проектировании сетей БПЛА кроме выше описанных проблем возникает и ряд других, среди которых [6]:

- высокая потребность в определенном виде трафика, что в свою очередь приводит к большей загруженности сети и повышению потребления электроэнергии;
- прерывистый характер связи между БПЛА и фрагментация сети, вызванные высокой мобильностью БПЛА;
- необходимость в предоставлении глобального обзора сети для обеспечения высокой эффективности развертывания БПЛА;
- ограниченность ресурсов сети БПЛА и возможностей по обеспечению взаимодействия БПЛА между собой и наземным сегментом сети (например, взаимодействие БПЛА с базовыми станциями или устройствами сенсорных полей).

Концепция программно-конфигурируемых сетей благодаря ряду своих преимуществ, таких как гибкое централизованное управление сетью, возможность программного конфигурирования, отделение уровня управления от уровня передачи данных, независимость сетевой инфраструктуры от поставщиков оборудования и использование открытых стандартов способны решить данные проблемы. При этом БПЛА будут рассматриваться в качестве коммутаторов SDN, а базовые станции, собирающие информацию от БПЛА и управляющие определенными аспектами функционирования сети, будут выступать в качестве контроллеров SDN.

Таким образом, применение концепции SDN в сетях БПЛА позволит:

1. Оптимизировать балансировку нагрузки между БПЛА и базовыми станциями.
2. Организовать централизованное управление сетью, что не только позволит более эффективно использовать ресурсы, но и повысит качество обслуживания.
3. Снизить потери пакетов и нагрузку на сеть, а также предоставить возможность гибкого распределения радиоресурсов и переконфигурирования сети (данная возможность программно-конфигурируемых сетей может быть реализована благодаря использованию одного или нескольких контроллеров SDN).
4. Динамически регулировать перемещение БПЛА в трехмерном пространстве.

Стоит также заметить, что если в качестве основного протокола «Южного интерфейса» для передачи пакетов в сети БПЛА (как было сказано ранее, БПЛА в сети с поддержкой SDN технологий, будут выполнять функции коммутаторов

SDN) рассматривается протокол OpenFlow, то при развертывании сети необходимо рассмотреть решение следующих проблем:

- адаптации контроллера к изменению масштабов сети и объемов передаваемого трафика;
- уязвимость контроллеров перед сервисными атаками;
- обеспечение динамического управления всей сетевой структурой;
- отсутствие синхронизации между временем установки правил и временем прибытия пакетов, а также отсутствие согласованности процессов обработки одних пакетов данных и установки правил для изменения, отбрасывания и передачи других.

На рис. 3 изображена архитектура сети БПЛА с интеграцией технологии программно-конфигурируемых сетей, в которой в качестве коммутаторов SDN выступают отдельные БПЛА, а в качестве контроллеров SDN – базовые станции наземного сегмента сети БПЛА. На данном рисунке представлена система, в которой БПЛА могут применяться для сбора данных от сенсорных полей.

Рис. 3. Архитектура сети БПЛА с контроллерами SDN в наземном сегменте

Рис. 4 также отображает архитектуру сети БПЛА с интеграцией технологий SDN, однако вместо базовых станций в качестве контроллера SDN были взяты воздушные балуны, относящиеся к воздушному сегменту сети и обладающие способностью взаимодействовать между собой. Также в данной архитектуре БПЛА разделены по кластерам, в каждом из которых один БПЛА выполняет роль головного узла, через который участники данного кластера осуществляют взаимодействие с БПЛА из другого кластера. Другими словами, взаимодействие БПЛА из разных кластеров осуществляется благодаря обмену информацией между головными узлами кластеров, которые в свою очередь могут взаимодействовать друг с другом напрямую, через наземные базовые станции или через воздушные балуны. Обмен данными между БПЛА в данной архитектуре в пределах одного кластера может осуществлять напрямую без участия головного узла. Также на уровне приложений в представленной на рис. 4 сети сетевые функции могут быть представлены в виде программных модулей.

Рис. 4. Архитектура сети БПЛА с контроллерами SDN в летающем сегменте

NFV и сети БПЛА

Применение концепции виртуализации сетевых функций позволит повысить производительность обработки трафика, передаваемого по сетям БПЛА [7, 8]. При реализации сетевой архитектуры с совместным использованием БПЛА и концепции NFV необходимо решить следующие проблемы:

- определение совместно используемых ресурсов для обеспечения интеграции БПЛА в сетевую архитектуру;
- уменьшение OPEX расходов;
- обеспечение контроля, определения местоположения и взаимодействия между собой виртуальных сетевых функций;
- повышение возможностей по масштабированию сетей и распределения ресурсов;
- обеспечить эффективный переход от аппаратной реализации объектов к их программной реализации.

Решение данных проблем в рамках концепции NFV можно представить в следующих пунктах:

1. Для абстрактного представления сетевой структуры возможно виртуализировать не только основные функции, но и различные средства аппаратного обеспечения устройств сети БПЛА.
2. Прозрачное масштабирование сети и распределение ресурсов благодаря применению концепции NFV
3. Снижение объёмов потребления электроэнергии беспилотными летательными аппаратами.
4. Благодаря виртуализации основных функций и аппаратных ресурсов возможно уменьшить затраты, возникающие при развертывании дополнительных аппаратных устройств, используемых при выполнении определенных поставленных задач.

Заключение

Подводя итоги, применение как концепции программно-конфигурируемых сетей, так и концепции виртуализации сетевых функций обладают рядом преимуществ, благодаря которым способны повысить эффективность работы сетевой структуры БПЛА, снизить энергопотребление БПЛА, а также уменьшить расходы на развертывание и обслуживание данной сети. Так как SDN и NFV различаются по выполняемым функциям (например, NFV применяется для виртуализации отдельных компонентов сети, а SDN для виртуализации сети в целом), их совместное использование предоставит больше преимуществ при развертывании сети БПЛА, чем отдельное использование одной из этих концепций.

Литература

1. Шкляева А. В., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Методы тестирования летающих сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 2. С. 43–52.
2. Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Kirichek, R.; Hammoudeh, M.; Koucheryavy, A. Energy- and Latency-Aware Hybrid Offloading Algorithm for UAVs // IEEE Access. 7, 37587–37600 (2019).
3. Yan, Z.; Zhang, P. and Vasilakos, A. V. A security and trust framework for virtualized networks and software-defined networking // Security and communication networks. 2016. Vol. 9. No. 16. pp. 3059–3069.

4. Ojo, M.; Adami, D. and Giordano, S. A SDN-IoT architecture with NFV implementation // in Proceedings of the IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE. 2016. pp. 1–6.
5. Li, Y. and Chen, M. Software-defined network function virtualization: A survey // IEEE Access. 2015. Vol. 3. pp. 2542–2553.
6. McCoy, J. and Rawat, D. B. Software-Defined Networking for Unmanned Aerial Vehicular Networking and Security: A Survey // Electronics. 2019. Vol. 8. No. 12, p. 1468.
7. Huang, T.; Yang, W.; Wu, J.; Ma, J.; Zhang, X. and Zhang, D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies // IEEE Access. Vol. 7. pp. 175 758–175 768. 2019.
8. Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Gaidamaka, Y.; Algarni, A. D. Latency and energy-efficient multi-hop routing protocol for unmanned aerial vehicle networks // International Journal of Distributed Sensor Networks. 15 (2019). doi: 10.1177/1550147719866392.

References

1. Shklyayeva A., Kirichek R., Koucheryavy A.: Methods for the Flying Ubiquitous Sensor Networks // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 2. pp. 43–52 (in Russia).
2. Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Kirichek, R.; Hammoudeh, M.; Koucheryavy, A. Energy- and Latency-Aware Hybrid Offloading Algorithm for UAVs // IEEE Access. 7, 37587–37600 (2019).
3. Yan, Z.; Zhang, P. and Vasilakos, A. V. A security and trust framework for virtualized networks and software-defined networking // Security and communication networks. 2016. Vol. 9. No. 16. pp. 3059–3069.
4. Ojo, M.; Adami, D. and Giordano, S. A SDN-IoT architecture with NFV implementation // in Proceedings of the IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). IEEE. 2016. pp. 1–6.
5. Li, Y. and Chen, M. Software-defined network function virtualization: A survey // IEEE Access. 2015. Vol. 3. pp. 2542–2553.
6. McCoy, J. and Rawat, D. B. Software-Defined Networking for Unmanned Aerial Vehicular Networking and Security: A Survey // Electronics. 2019. Vol. 8. No. 12, p. 1468.
7. Huang, T.; Yang, W.; Wu, J.; Ma, J.; Zhang, X. and Zhang, D. A Survey on Green 6G Network: Architecture and Technologies // IEEE Access. Vol. 7. pp. 175 758–175 768. 2019.
8. Ateya, A. A.; Muthanna, A.; Gudkova, I.; Gaidamaka, Y.; Algarni, A. D. Latency and energy-efficient multi-hop routing protocol for unmanned aerial vehicle networks // International Journal of Distributed Sensor Networks. 15 (2019). doi:10.1177/1550147719866392.

Коваленко Вадим Николаевич – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kovalenkovadim1996@gmail.com

Kovalenko Vadim – Postgraduate Student, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, kovalenkovadim1996@gmail.com

Алзагир Аббас Али Хасан – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, abbasaltamimi89@gmail.com

Alzaghir Abbas Ali Hasan – Postgraduate Student, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, abbasaltamimi89@gmail.com

Мутханна Аммар Салех Али – кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ammarexpress@gmail.com

Muthanna Ammar – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, ammarexpress@gmail.com