

28. Stueflotten, S. Low temperature excess loss of loose tube fiber cables. *Applied Optic*, 1982, vol. 21, no. 23, pp. 4300-4307. doi: 10.1364/AO.21.004300.
29. Burdin V.A., Vazhdaev M.A. Method of excess fiber length estimating based on low subzero temperature climatic test. *SPIE Proceedings*, 2014, vol. 9156, p. 91560P. doi: 10.1117/12.2054283.
30. Burdin V.A. Sposob izmereniya izbytochnoj dliny opticheskogo volokna v opticheskom module opticheskogo kabelya v processe klimaticheskikh ispytaniy [Method for measuring the excess length of an optical fiber in an optical module of an optical cable during a climatic test]. Patent RF, no. 2562141, 2015.
31. Burdin V.A., Vazhdaev M.A. Metod ocenivaniya raspredelenij izbytochnoj dliny volokna v opticheskom kabele po rezul'tatam reflektometricheskikh izmerenij koehfficientov zatuhaniya pri nizkikh otricatel'nyh temperaturah [A method for estimating the distributions of excess fiber length in an optical cable based on the results of reflectometric measurements of attenuation coefficients at low negative temperatures]. *Infokommunikacionnye tekhnologii*, 2014, vol.12, no.3, pp. 22-28.
32. Burdin V.A., Vazhdaev M.A., Nizhgorodov A.O. Prognoz sroka sluzhby opticheskogo volokna v kabele po rezul'tatam analiza dannyh reflektometricheskikh izmerenij opticheskikh volokon [Forecast of optical fiber service life in a cable based on the analysis of the OTDR data]. *Fizika volnovykh processov i radio-tekhnicheskie sistemy*, 2015, vol. 18, no. 3, pp. 87-91
33. Burdin, V.A. Methods of optical fiber curvature measurement on loose-tube optical cable delivery length. *SPIE Proceedings*, 2016, vol. 9807, p. 98071A-1 – 98071A-7. doi: 10.1117/12.2234631.
34. Okamoto K., Nakamura A., Koshikiya Y., Watanabe H., Manabe T. Highly Sensitive Monitoring of Progressive Microbending Loss Using 1-mm-band Mode-detection OTDR. *IWCS Proceedings 65*, 2016, pp. 228-233.
35. Diaz V. One fibre everywhere? *Fibre Systems 4*, 2014, pp. 12-13.
36. Galtarossa A., Menyuk C.R. *Polarization mode dispersion*. Springer, 2005, 296 p.
37. Galtarossa A., Palmieri L., Schiano M., Tambosso T. Single-end polarization mode dispersion measurement using backreflected spectra through a linear polarizer. *J. of Lightwave Technol*, 1999, vol. 17, no.10, pp. 1835-1842. doi: 10.1109/50.793762.
38. Kumar, A., Ghatak, A. *Polarization of light with applications in optical fiber*. SPIE Press, Washington, 2011, 230 p.
39. Kotov O.I., Liokumovich L.B., Markov S.I., Medvedev A.V., Hlybov A.V. Modulyaciya raznosti faz polarizacionnyh mod v odnomodovyh volokonnyh svetovodah [Modulation of the phase difference of polarization modes in single-mode optical fibers]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2004, vol. 74, no.1, pp. 72-76.

*Received 01.06. 2017*

УДК 621.391

## ОБЗОР ПРОЕКТОВ ВИРТУАЛИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

*Росляков А.В., Витевский В.Д.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: aros1@mail.ru*

В последние годы в информационных технологиях торжествует концепция виртуализации – подход, позволяющий гибко управлять вычислительным оборудованием, превращая физические серверы и системы хранения данных в универсальный и эффективно используемый вычислительный ресурс. По очень похожему сценарию сейчас идет развитие телекоммуникационных сетей по направлению к будущим сетям Future Networks. Сетевые устройства (коммутаторы, маршрутизаторы, базовые станции и др.) и обеспечиваемая ими среда передачи данных рассматриваются как пул физических ресурсов определенной емкости. Основным ресурсом телекоммуникационных сетей является ее пропускная способность, поэтому реализация требуемых сетевых приложений и услуг обеспечивается перераспределением необходимой пропускной способности поверх существующей физической сетевой инфраструктуры. Сетевая виртуализация является инновацией, которая позволит реализовать истинное многообразие приложений и услуг, предоставление которых затруднено или невозможно в рамках действующих сетей следующего поколения (Next Generation Networks). В статье представлен обзор зарубежных проектов сетевой виртуализации с последующим обсуждением основных проблем в данной области.

**Ключевые слова:** будущие сети, сетевая виртуализация, провайдер физической инфраструктуры, сервис-провайдер

## Введение

С момента появления Internet прошло немногим более 30 лет, однако он уже успел стать неотъемлемой частью нашей жизни. С одной стороны, Internet предоставляет возможность свободного общения с близкими и друзьями в любой точке мира, получения интересующей нас информации, а также незаменим в корпоративной деятельности. С другой стороны, его популярность стала крупнейшим препятствием для дальнейшего развития. Из-за существования большого числа сетевых провайдеров создание новой сетевой архитектуры или модификация существующей с каждым днем становится все более сложной задачей в связи с необходимостью получения согласия всех конкурирующих сторон. В результате изменения сетевой архитектуры Internet ограничиваются простыми обновлениями программного обеспечения отдельных компонентов.

Сетевая виртуализация – новая сетевая парадигма будущих сетей (Future Networks) [1], которая предоставит возможность использовать существующие сетевые архитектуры более эффективно. В широком смысле под виртуализацией понимается абстракция вычислительных ресурсов и предоставление пользователю системы, которая скрывает собственную реализацию. Сетевая виртуализация – это метод одновременной реализации множества виртуальных сетей на одной физической сети [2]. Фактически каждая виртуальная сеть представляет собой набор виртуальных узлов и виртуальных каналов.

Сетевая виртуализация предлагает распределение функциональности в сетевой среде путем разделения роли традиционного провайдера услуг Internet ISP (Internet Service Providers) на две: провайдеров физической инфраструктуры InPs (Infrastructure Providers), управляющих физической инфраструктурой, и сервис-провайдеров SPs (Service Providers), которые создают виртуальные сети путем объединения ресурсов нескольких InPs и предоставляют сетевые услуги «из конца в конец» [3-4]. В частности, сетевая виртуализация является сетевой средой, которая позволяет нескольким SPs динамически создавать гетерогенные и изолированные друг от друга виртуальные сети. Для создания виртуальной сети SPs необходимо арендовать физические ресурсы у одного или нескольких InPs. SPs могут предоставлять персонализированные услуги и выполнять функцию их управления в каждой виртуальной сети.

Однако как область исследований сетевая виртуализация очень мало изучена. Такие технические проблемы, как реализация, эксплуатация и управление виртуальными сетями являются либо нетронутыми, либо требуют дополнительного внимания. Это представляет собой широкий спектр открытых теоретических и практических проблем. Цель статьи – анализ современного состояния проблемы сетевой виртуализации и ключевых вопросов для будущих исследований.

## Технологии

Рассмотрим четыре основные технологии виртуализации, а именно: виртуальные локальные сети VLAN (Virtual Local Area Network), виртуальные частные сети VPN (Virtual Private Network), активные и программируемые сети APN (Active and Programmable Networks) и наложенные сети ON (Overlay Networks).

VLAN представляют собой группу хостов с некими общими интересами, которые логически объединены в рамках одного широковещательного домена независимо от их физического подключения. Они являются гибкими с точки зрения сетевого администрирования, управления и реконфигурации. Также VLAN обеспечивают повышенный уровень надежности, безопасности и изоляции, и к тому же они являются экономически эффективными.

VPN является специализированной сетью связи одного или нескольких предприятий, которые географически расположены в разных местах и связаны через туннели в сетях связи общего пользования. Каждый участок VPN содержит одно или несколько клиентских устройств (CE) (например хост или маршрутизатор), которые присоединяются к одному или нескольким маршрутизаторам на стороне оператора (PE). Обычно управление и предоставление услуг VPN производится SP [5]. В то время как реализация VPN существует во многих слоях сетевого стека, следующие три уровня являются наиболее распространенными.

VPN третьего уровня (L3VPN) отличаются использованием в основе VPN протоколов третьего уровня (например IP или MPLS) для передачи данных между распределенными CE. Сети VPN второго уровня (L2VPN) обеспечивают соединение второго уровня «из конца в конец» между распределенными станциями, передавая кадры второго уровня (чаще всего Ethernet, но также ATM и Frame Relay) между участниками. Основным преимуществом L2VPN является

ся поддержка гетерогенных протоколов более высокого уровня. Но отсутствие контрольной плоскости лишает возможности ее управления сквозь VPN.

Структура VPN первого уровня (L1VPN) возникла из необходимости расширения концепции VPN L2/L3 с коммутацией пакетов до технологии с коммутацией каналов. Это позволяет передавать ресурсы нескольких виртуальных клиентов по общей инфраструктуре первого уровня. Фундаментальное различие между L1VPN и L2 или L3 в том, что подключение к плоскости передачи данных L1VPN не гарантирует подключение к плоскости управления (и наоборот). Активные или программируемые сети APN не могут рассматриваться в качестве непосредственного примера сетевой виртуализации, однако большинство проектов в этой области продвигают вперед концепцию существующих сетей через программируемость. Активные сети обеспечивают изолированную среду, позволяющую избежать конфликтов и неустойчивости сети при запуске некоего противоречивого кода на одних и тех же сетевых элементах.

Наложённая сеть ON представляет собой виртуальную сеть, которая создает виртуальную топологию поверх физической топологии. Узлы в наложенной сети связаны через виртуальные соединения, которые соответствуют путям сети, лежащей в ее основе. Наложения, как правило, реализуются на уровне приложения, хотя существуют различные реализации на нижних уровнях сетевого стека. Наложённые сети географически не ограничены, что делает их гибкими и адаптивными к изменениям и легко развертываемыми по сравнению с любыми другими сетями. В результате наложенные сети уже давно используются для развертывания новых функций в Internet.

### Проекты сетевой виртуализации

Исторически термин «виртуальная сеть» был популярен среди сетевых исследователей и применялся для описания проектов над виртуальными частными сетями, наложенными сетями и активными сетями. В данном разделе выделены основные характеристики в широком диапазоне сетевых виртуальных архитектур и связанных с ними проектами. При отсутствии официальной терминологии для сетевой виртуализации каждая исследовательская группа использует свой собственный набор терминов для описания проекта. Тем не менее можно предложить набор базовых характеристик, на основе которых реализованы эти проекты.

Сетевые технологии развертываются на конкретных сетевых платформах со своим уникальным набором характеристик.

IP-сети: проект X-Bone [6] впервые был предложен в качестве системы для быстрого и автоматического развертывания и управления наложенными сетями, которые используют инкапсуляцию для создания виртуальной инфраструктуры. В дальнейшем эта идея распространилась на концепцию Виртуального Интернета VI (Virtual Internet) [7], который представляет собой IP-сеть, состоящую из туннельных связей между набором виртуальных маршрутизаторов и хостов, с динамическим обнаружением ресурсов, развертыванием и мониторингом. VI полностью отделяет физическую сеть от наложенной и несколько VI могут сосуществовать вместе. VI также поддерживает управляемую рекурсию, что позволяет отдельно управлять сетью и сетевой рекурсией в наложенных друг на друга VI.

Сети ATM: проект Tempest [8] представляет собой архитектуру управления сетью, позволяющую нескольким гетерогенным архитектурам управления работать одновременно на одной сети ATM. Tempest основан на концепции «переключателей» (switchlets), которая позволяет одному коммутатору ATM находиться под управлением нескольких контроллеров путем строгого разделения ресурсов этого коммутатора между контроллерами. Набор «переключателей», которыми управляет контроллер или группа контроллеров, формирует виртуальную сеть. Третьи лица могут арендовать такие виртуальные сети у оператора сети Tempest и использовать их для своих целей.

Уровень виртуализации – это уровень в сетевом стеке, на котором возможна виртуализация; чем он ниже, тем выше гибкость виртуальной сети, развернутой на его платформе.

Физический уровень: проект UCLP является системой распределенного управления и администрирования сети CA\*NET 4, которая позволяет конечным пользователям обращаться к сетевым ресурсам в качестве программной системы. Пользователи легко могут присоединиться или отсоединиться в пределах одного или нескольких доменов с независимым управлением для создания пользовательских логических IP-сетей. В UCLP применяется модульный подход к управлению ресурсами путем введения трех отдельных уровней обслуживания [9]. Клиенты и администраторы настраивают и используют сквозные UCLP ресурсы через уровень пользовательского доступа. Уровень предоставления услуг управляет их логикой и содержит данные о так называемых «легких пу-

тях». Уровень управления ресурсами имеет дело с реальными физическими ресурсами.

Канальный уровень: проект VNET [10] представляет собой наложенную сеть второго уровня для виртуальных машин VM (Virtual Machine), которая реализует VLAN, покрывающую широкую область при помощи протокола туннелирования второго уровня (L2TP). Каждая физическая машина, на которой реализована VM, запускает процесс VNET, перехватывающий трафик VM и направляющий его через туннели к месту назначения. Пунктом назначения является либо другая VM, с которой можно связаться непосредственно через VNET, либо внешний адрес по отношению к наложенной сети. Трафик, предназначенный для внешнего адреса, направляется через наложенную сеть к прокси-узлу VNET, который отвечает за передачу пакетов в соответствующую сеть. Таким образом, наложенная сеть состоит из набора TCP-соединений или одноранговых UDP-соединений (VNET-соединения) и набора правил (VNET-маршруты) для управления маршрутизацией в наложении.

Сетевой уровень: проект AGAVE [11], основной целью которого является предоставление услуг «из конца в конец» по IP-сетям с использованием механизмов поддержки качества QoS. Для её достижения AGAVE предлагает новую междоменную архитектуру, основанную на концепции сетевых плоскостей NPs (Network Planes), которая позволяет нескольким провайдерам INPs создавать и предоставлять параллельные Internet-сети с учетом требуемых услуг «из конца в конец». AGAVE заменяет подход резервирования/конфигурирования в центральном узле на более централизованный подход, основанный на конфигурации сети, обеспечивая согласованность конфигураций между участвующими INPs и уменьшает количество ошибок конфигурирования. Также он поддерживает функцию эмуляции NP, которая позволяет оценить состояние сети и влияние внедрения новых NPs, перед принятием новых запросов инициализации IP-подключения.

Уровень приложений: проект VIOLIN [12] является виртуальной сетевой архитектурой уровня приложений, где изолированные виртуальные сети создаются в программных средствах на вершине наложенной инфраструктуры. VIOLIN расширяет идею изоляции отдельных узлов в VM для обеспечения полностью изолированных виртуальных сетей. VIOLIN обеспечивает изоляцию сети относительно администрирования, адресного пространства и протоколов, атак и устранения последствий, а также ресурсов.

Архитектура – принципы, принятые для реализации архитектуры, и услуги, которые могут быть реализованы на этих платформах.

Порождающие сети: проект Genesis, [13], ядром здесь является открытая программируемая сеть, что позволяет автоматизировать процесс жизненного цикла для создания, развертывания, управления и проектирования сетевых архитектур. Все это предоставляет возможность создания и работы нескольких гетерогенных дочерних виртуальных сетей на основе подмножества родительских ресурсов и обеспечивает изоляцию между ними. Ядро Genesis также поддерживает вложенность виртуальных сетей и наследование архитектурных компонентов от родительских сетей к сетям потомков.

Управление сетью: проект VNRMS [14] представляет собой гибкую и настраиваемую виртуальную сетевую архитектуру управления. Она предоставляет программируемую сетевую среду для создания нескольких уровней виртуальных сетей на одной физической сети. Виртуальная сеть состоит из нескольких виртуальных сетевых ресурсов VNRs (Virtual Network Resources), где каждый VNR является подмножеством физического сетевого ресурса основной сети. VNRMS позволяет клиентам настраивать VNR за счет активных ресурсных агентов при помощи ориентированной системы управления. В то время как провайдер VNRMS имеет доступ ко всем ресурсным агентам, клиент может получить доступ только к тем, которые принадлежат к его виртуальной сети.

Виртуальные активные сети: проект NetScript [15] представляет собой языковую систему для динамического программирования и развертывания программного обеспечения протоколов в активной сети. Это строго типизированный язык, который создает универсальные языковые абстракции для захвата сетевой программируемости. В отличие от других активных сетевых архитектур, где пакеты содержат активные программы, пакеты NetScript являются пассивными. Эти пакеты обрабатываются с помощью программных средств протоколов или аппаратных средств, когда они проходят через сеть. В этой архитектуре активные приложения обработки пакетов и стандартизированные протоколы могут объединяться, взаимодействовать и пользоваться услугами друг друга.

Экспериментальная установка: проект FEDERICA [16] объединяет адресные данные, плоскости контроля и управления в функциональную сетевую инфраструктуру. Она призвана обеспечить прозрачную инфраструктуру, которая будет поддерживать сосуществование изолиро-

ванных уровней (слайсов) с возможностью полного контроля пользователя до самого низкого уровня. Несколько слайсов можно объединить между собой и подключить к внешним сетям и услугам.

Основной упор в FEDERICA делается на воспроизводимости экспериментов, то есть при тех же начальных условиях результаты эксперимента останутся прежними. Этому способствует использование высокопроизводительных программируемых маршрутизаторов и коммутаторов в основных узлах, на базе которых осуществляется виртуализация. Подключение созданных аналогов к основным узлам происходит через многопротокольные коммутаторы. Создание виртуальной сети осуществляется с помощью централизованного управления доступом.

Детализация виртуализации означает, что каждая виртуальная сеть может администрироваться отдельно. С одной стороны, на сети создаются виртуальные сети путем объединения виртуальных машин, подключенных к разным узлам. С другой, каждая виртуальная сеть имеет подобие родительской сети

Виртуализация узлов: проект PlanetLab [17] является экспериментальной системой на основе наложенной сети, разработанной для проектирования, оценки и развертывания территориально распределенных сетевых сервисов. Ее цель состоит в создании сервис-ориентированной сетевой архитектуры, сочетая лучшие качества распределенных систем и сетей. PlanetLab строится на четырех принципах разработки. Во-первых, она предоставляет возможность создания слайсов. Во-вторых, поддерживает высоко децентрализованную структуру управления, что позволяет узлам действовать в соответствии с местной политикой. В-третьих, управление наложенными сетями осуществляется в каждом слайсе отдельно, взамен централизованного. И, наконец, наложенная сеть поддерживает существующий и широко применяемый интерфейс программирования.

Проект GENI – основываясь на опыте, накопленном с использованием PlanetLab и других подобных тестовых систем, Глобальная Среда для Сетевых Инноваций GENI (Global Environment for Network Innovations) [18] является главной инициативой Национального Научного Фонда США. GENI представляет собой открытую крупномасштабную экспериментальную установку для оценки новых сетевых архитектур путем передачи реального трафика от имени конечных пользователей, а также подключенную к существующей сети Internet для достижения внешних сайтов. Целью данного проекта является предо-

ставление исследователям возможности создания собственных виртуальных сетей и проведения экспериментов без ограничений, имеющихся в существующем Internet.

Полная виртуализация: проект SABO [22] способствует разделению между провайдерами инфраструктуры и сервис-провайдерами. SABO использует виртуализацию, чтобы позволить сервис-провайдерам одновременно предоставлять несколько услуг «из конца в конец» на оборудовании, принадлежащем различным провайдерам инфраструктур. Поддерживая автоматическую миграцию виртуальных маршрутизаторов от одного физического узла к другому, SABO берет на себя ответственность по предоставлению гарантий сервис-провайдерам, предлагает многоуровневую схему маршрутизации, которая является масштабируемой и быстро реагирует на любые изменения в сети.

Проект VINI [19] представляет собой виртуальную сетевую инфраструктуру, позволяющую сетевым исследователям производить оценку своих протоколов и услуг в реальных условиях с высокой степенью контроля. Ее можно рассматривать как расширение PlanetLab в сторону GENI, которая в состоянии обеспечить инфраструктуру, как в PlanetLab, с поддержкой виртуальных сетей, как в X-Bone или VIOLIN. VINI дает возможность создания более реалистичной альтернативы моделированию и эмуляции предлагаемых сетевых архитектур.

Проект 4WARD – структура виртуализации 4WARD [20] предоставит возможность сосуществования нескольких сетей на общей платформе по средствам виртуализации сетевых ресурсов операторского класса. Она предоставит средства для поддержки реализации по требованию и надежное взаимодействие между гетерогенными виртуальными сетями. 4WARD также поддерживает виртуализацию гетерогенных сетевых технологий (например проводных и беспроводных), разнородных устройств конечных пользователей, а также новых сетевых протоколов.

Проект NouVeau [21] стремится к гибкой, управляемой и безопасной среде сетевой виртуализации «из конца в конец» путем создания целостной структуры, объединяющей лучшие черты существующих предложений со своими собственными. NouVeau предлагает две основные роли: провайдеров инфраструктур и сервис-провайдеров, но поддерживает более конкурентоспособную цепочку экономических ценностей через рекурсии виртуальных сетей и наследования родительских свойств к дочерним виртуальным

сетям. Кроме того, он поддерживает повторное использование виртуальных узлов для повышения управляемости. В NouVeau придерживаются безопасные парадигмы программирования, кото-

рые управляются провайдерами инфраструктур с возможностью настройки функциональности для сервис-провайдеров. Также он поддерживает создание настраиваемых виртуальных сетей на лю-

Таблица 1. Характеристики проектов сетевой виртуализации

Проект	Технологии сетевой виртуализации	Архитектура	Сетевая технология	Уровень виртуализации	Детализация виртуализации
VNRMS	Программируемые сети, VPN	Управление виртуальной сетью	ATM/IP		Узел/канал
Tempest	Программируемые сети	Создание альтернативных архитектур управления	ATM	Канальный	
NetScript	Активные сети	Динамическое составление услуг	IP	Сетевой	Узел
Genesis	Программируемые сети	Порождающие виртуальные сетевые архитектуры		Сетевой	Узел/канал
VNET	VLAN, L2VPN	Распределенные виртуальные машинные вычисления		Канальный	Узел
VIOLIN	L2VPN, наложенные сети	Развертывание дополнительных услуг по запросу на базе IP сетей	IP	Уровень приложений	Узел
X-Bone	L3VPN, наложенные сети	Автоматизация развертывания наложенных IP сетей	IP	Сетевой	Узел/канал
Planet-Lab	Наложённые сети	Развертывание и управление тестовыми системами на основе наложений	IP	Уровень приложений	Узел
UCLP	L1VPN, SOA	Динамическое выделение ресурсов и реконфигурация оптических трактов	SONET	Физический	Канал
AGAVE	IntServ, DiffServ, VPN, наложенные сети	Предоставление услуг «из конца в конец» с поддержкой QoS	IP	Сетевой	
GENI	VPN, активные и программируемые сети, наложенные сети	Создание настраиваемых виртуальных сетевых тестовых систем	Гетерогенная		
VINI	VPN, наложенные сети	Оценка протоколов и услуг в реальных условиях		Канальный	
CABO	DiffServ, VPN, активные и программируемые сети, наложенные сети	Развертывание дополнительных услуг «из конца в конец» на общей инфраструктуре	Гетерогенная		Все
4WARD	Наложённые сети, SOA, автономные сети	Инсталляция, развертывание и управление виртуальными сетями в коммерческих условиях	Гетерогенная	Сетевой	Все
NouVeau	Наложённые сети, активные и программируемые сети, VPN, автономные сети	Развертывание виртуальных сетей «из конца в конец» на общей инфраструктуре	Гетерогенная		Все
FEDERICA	SOA, VPN	Экспериментальная установка с воспроизводимостью	Гетерогенная	Канальный	Узел/канал

бом уровне сетевого стека посредством рекурсии и наследования.

### Эволюция сетевой виртуализации

В таблице 1 представлена краткая информация о характеристиках рассмотренных проектов сетевой виртуализации в хронологическом порядке. Можно наблюдать три уникальные тенденции в развитии исследований сетевой виртуализации с течением времени по направлению к созданию целостной и обобщенной сетевой среды будущего. Прежде всего, в отличие от ранних проектов (например X-Bone, VIOLIN, PlanetLab), которые были сосредоточены больше на подключение виртуальных узлов или развертывание виртуальных связей между физическими узлами, более поздние проекты (например GENI, 4WARD, NouVeau) стремятся к достижению не только виртуализации узлов и каналов, но и виртуализации других сетевых аспектов (например плоскость управления) путем эффективной изоляции.

Другие важные разработки продвигают виртуализацию на нижних уровнях сетевого стека (например проекты FEDERICA, SABO). Чем ниже уровень, тем выше гибкость; нет широкого сетевого контроля и управления плоскостями. Эта проблема в настоящее время рассматривается в рамках текущих проектов с использованием различных подходов (например централизованное управление) без каких-либо окончательных решений. И, наконец, с увеличением числа мобильных и беспроводных устройств и появлением специализированных сетевых технологий (например сенсорные сети), исследователи сетевой виртуализации пытаются объединить множество гетерогенных технологий в интегрированной среде (например проекты GENI, 4WARD, FEDERICA, NouVeau). В то время как предшествующие проекты были сосредоточены на использовании конкретной технологии (например проект UCLP предназначен только для оптических сетей), в настоящее время исследования больше сводятся к преодолению разрыва между различными технологиями.

### Заключение

Большинство исследователей сходятся во мнении, что развитие Internet достигло критической точки, где большую часть времени тратится на исправление существующих недостатков вместо разработки новых идей. Для предотвращения такого застоя необходимо произвести реконструкцию всего Internet. Вместо создания еще одной

глобальной архитектуры новая универсальная сетевая парадигма Future Networks, являясь достаточно гибкой, предоставит возможность поддерживать несколько сосуществующих архитектур за счет сетевой виртуализации.

В результате основные инициативы будущих сетей Future Networks по всему миру продвигают включение концепции сетевой виртуализации в свои архитектурные конструкции.

Кроме того, сетевая виртуализация является недостающим звеном, которое объединит все другие виртуальные устройства – начиная от операционных систем, систем хранения данных на серверах и даже крупных центров обработки данных и заканчивая созданием полного подобия виртуальной вычислительной и телекоммуникационной среды.

Несмотря на то что сетевая виртуализация предоставит открытую, гибкую и гетерогенную сетевую среду, она также будет представлять собой ряд проблем с точки зрения реализации, эксплуатации и управления, которые требуют скоординированного внимания со стороны исследователей, работающих в области сетевых технологий и других смежных областях.

### Литература

1. Росляков А.В., Ваняшин С.В. Будущие сети (Future Networks). Самара: ИУНЛ ПГУТИ, 2015. – 274 с.
2. Росляков А.В., Витевский В.Д. Виртуализация в будущих беспроводных сетях // Мобильные телекоммуникации. №3-4, 2016. – С. 2-4.
3. Turner J., Taylor D. Diversifying the internet, Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference // GLOBECOM'05. Vol. 2, 2005. – 6 p. doi: 10.1109/GLOCOM.2005.1577741.
4. Feamster N., Gao L., Rexford J. How to lease the internet in your spare time // SIGCOMM Computer Communication Review. Vol. 37, No. 1, 2007. – P. 61-64. doi: 10.1145/1198255.1198265.
5. Andersson L., Madsen T. Provider Provisioned Virtual Private Network (VPN) Terminology // RFC 4026, 2005. – 20 p. doi: 10.17487/RFC4026.
6. Touch J.D. Dynamic internet overlay deployment and management using X-Bone // Computer Networks. Vol. 36, 2001. – P. 117-135. doi: 10.1016/S1389-1286(01)00172-4.
7. Touch J.D., Wang Y.S., Eggert L., Finn G. A Virtual Internet Architecture // Information Sciences Institute, 2003. – 11 p.

8. Merwe J.E., Rooney S., Leslie I., Crosby S. The Tempest - a practical framework for network programmability // IEEE Network Magazine. Vol. 12, No. 3, 1998. – P. 20-28. doi: 10.1109/65.690958.
9. Boutaba R., Golab W., Iraqi Y., St-Arnaud B. Grid-controlled lightpaths for high performance grid applications // Journal of Grid Computing. Vol. 1, No. 4, 2003. – P. 387-394. 10.1023/B:GR ID.0000037552.74350.50.
10. Sundararaj A., Dinda P. Towards virtual networks for virtual machine grid computing // Proceedings of the Third USENIX Virtual Machine Research and Technology Symposium 2004. – P. 177-190.
11. Boucadair M., Levis P., Griffin D., Wang N. A framework for end-to-end service differentiation: network planes and parallel Internets // IEEE Communications. Vol. 45, No. 9, 2007. – P. 134-143. doi: 10.1109/MCOM.2007.4342868.
12. Ruth P., Jiang X., Xu D., Goasguen S. Virtual distributed environments in a shared infrastructure // Computer. Vol. 38, No. 5, 2005. – P. 63-69. doi: 10.1109/MC.2005.175.
13. Kounavis M., Campbell A., Chou S., Modoux F. The Genesis Kernel: a programming system for spawning network architectures // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 19, No. 3, 2001. – P. 511-526. doi: 10.1109/49.917711.
14. Jun A., Leon-Garcia A., Virtual network resources management: a divide-and-conquer approach for the control of future networks // Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'98). Vol. 2, 1998. – P. 1065-1070. doi: 10.1109/GLOCOM.1998.776890.
15. Silva S., Yemini Y., Florissi D. The NetScript active network system // IEEE Journal on Selected Areas in Communication. No. 19, 2001. – P. 538-551. doi: 10.1109/49.917713.
16. Szegedi P., Figuerola S., Campanella M., Maglaris V. With evolution for revolution: the FEDERICA approach // IEEE Communications Magazine. No. 47, 2009. – P. 34-39.
17. Spring N., Peterson L., Bavier A., Pai V. Using PlanetLab for network research: myths, realities, and best practices // SIGOPS Operating Systems Review. No. 40, 2006. – P. 17-24. doi: 10.1145/1113361.1113368.
18. Group G.P. GENIdesign principles // Computer. No. 39, 2006. – P. 102-105. doi: 10.1109/MC.2006.307
19. Bavier A., Feamster N., Huang M. e.a. In VINI veritas: realistic and controlled network experimentation // Proceedings of the SIGCOMM'06, 2006. – P. 3-14. doi: 10.1145/1159913.1159916.
20. Banniza T.-R., Biraghi A.-M., Correia L., Monath T. First Project-wide Assessment on Non-technical Drivers. January 2009. – 38 p. doi: 10.1002/bltj.20370.
21. Chowdhury N.M.M.K. Identity Management and Resource Allocation in the Network Virtualization Environment // Master's Thesis, Cheriton School of Computer Science. University of Waterloo, January 2009. – 107 p.
22. Feamster N., Gao L., Rexford J. How to lease the internet in your spare time // SIGCOMM Computer Communication Review. No. 37, 2007. – P. 61–64. doi: 10.1145/1198255.1198265.

*Получено 20.03.2017*

**Росляков Александр Владимирович**, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой автоматической электросвязи (АЭС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 333-69-25. E-mail: arosl@mail.ru

**Витевский Виктор Денисович**, аспирант Кафедры АЭС ПГУТИ. Тел. 8-927-737-17-67. E-mail: vitevskiy@mail.ru

## SURVEY OF TELECOMMUNICATION NETWORK VIRTUALIZATION PROJECTS

*Roslyakov A.V., Vitevskiy V.D.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: arosl@mail.ru*

During recent years, virtualization concept had great success in the field of information technologies. Virtualization enables flexible management of computing equipment and combines physical servers and data storage systems into one universal and efficient computing resource. The evolution of telecommunication networks into Future Networks follows a similar scenario. Network devices, such as switches, routers, base stations, etc, and corresponding communication environments are considered a pool of physical resources of a certain capacity. The main resource



of telecommunication network is its bandwidth, therefore, the implementation of the required network applications and services is ensured by the redistribution of the necessary bandwidth over the existing physical network infrastructure. In practice, the paradigm of network virtualization is implemented in the form of technologies such as Software Defined Networks, Network Functions Virtualization and Overlay Networks. Network virtualization is an innovation that will allow to achieve the true diversity of applications and services that are difficult or impossible to provide within the existing next generation networks. The article contains an overview of the foreign network virtualization projects, followed by a discussion of the major problems in this field.

**Keywords:** Future Networks, network virtualization, infrastructure provider, service provider

**DOI:** 10.18469/ikt.2017.15.3.05

**Roslyakov Alexander Vladimirovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23 L. Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; the Head of Automatic Telecommunication Department; Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +78463336925. E-mail: arosl@mail.ru

**Vitevskiy Viktor Denisovich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation; PhD Student of Automatic Telecommunication Department. Tel. +78463336925. E-mail: vitevskiy@mail.ru

## References

1. Roslyakov A. V., Vanyashin S.V. *Budushchiye seti* [Future Networks]. Samara, PSUTI, 2015. 274 p.
2. Roslyakov A. V., Vitevskiy V.D. Virtualizatsiya v budushchikh besprovodnykh setyakh [Virtualization in future wireless networks]. *Mobil'nye telekommunikacii*, 2016, no. 3-4, pp. 2-4.
3. Turner J., Taylor D. Diversifying the internet. *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM'05*, 2005. vol. 2, 6 p. doi: 10.1109/GLOCOM.2005.1577741.
4. Feamster N., Gao L., Rexford J. How to lease the internet in your spare time. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 2007. vol. 37, no. 1, pp. 61–64. doi: 10.1145/1198255.1198265.
5. Andersson L., Madsen T. Provider Provisioned Virtual Private Network (VPN) Terminology. *RFC 4026*, 2005. doi: 10.17487/RFC4026.
6. Touch J.D. Dynamic internet overlay deployment and management using X-Bone. *Computer Networks*, 2001. vol. 36, pp. 117–135. doi: 10.1016/S1389-1286(01)00172-4.
7. Touch J.D., Wang Y.S., Eggert L., Finn G. A Virtual Internet Architecture. *Information Sciences Institute*, 2003. 11 p.
8. Merwe J.E., Rooney S., Leslie I., Crosby S. The Tempest - a practical framework for network programmability. *IEEE Network Magazine*, 1998. vol. 12, no. 3, pp. 20–28. doi: 10.1109/65.690958.
9. Boutaba R., Golab W., Iraqi Y., St-Arnaud B. Grid-controlled lightpaths for high performance grid applications. *Journal of Grid Computing*, 2003. vol. 1, no. 4, pp. 387–394. doi: 10.1023/B:GRID.0000037552.74350.50.
10. Sundararaj A., Dinda P. Towards virtual networks for virtual machine grid computing. *Proceedings of the Third USENIX Virtual Machine Research and Technology Symposium*, 2004. pp. 177–190.
11. Boucadair M., Levis P., Griffin D., Wang N. A framework for end-to-end service differentiation: network planes and parallel Internets. *IEEE Communications*, 2007. vol. 45, no. 9, pp. 134–143. doi: 10.1109/MCOM.2007.4342868.
12. Ruth P., Jiang X., Xu D., Goasguen S. Virtual distributed environments in a shared infrastructure. *Computer*, 2005. vol. 38, no. 5, pp. 63–69. doi: 10.1109/MC.2005.175.
13. Kounavis M., Campbell A., Chou S., Modoux F. The Genesis Kernel: a programming system for spawning network architectures. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2001. vol. 19, no. 3, pp. 511–526. doi: 10.1109/49.917711.
14. Jun A., Leon-Garcia A. Virtual network resources management: a divide-and-conquer approach for the control of future networks. *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'98)*, 1998. vol. 2, pp. 1065–1070. doi: 10.1109/GLOCOM.1998.776890.
15. Silva S., Yemini Y., Florissi D. The NetScript active network system. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2001. no. 19, pp. 538–551. doi: 10.1109/49.917713
16. Szegedi P., Figuerola S., Campanella M., Maglaris V. With evolution for revolution: the FEDERICA approach. *IEEE Communications Magazine*, 2009. no. 47, pp. 34–39.

17. Spring N., Peterson L., Bavier A., Pai V. Using PlanetLab for network research: myths, realities, and best practices. *SIGOPS Operating Systems Review*, 2006. no. 40, pp. 17–24. doi: 10.1145/1113361.1113368.
18. Group G.P. GENI design principles. *Computer*, 2006. no. 39, pp. 102–105. doi: 10.1109/MC.2006.307
19. Bavier A., Feamster N., Huang M., Peterson L., Rexford J. In VINI veritas: realistic and controlled network experimentation. *Proceedings of the SIGCOMM'06*, 2006. pp. 3–14. doi: 10.1145/1159913.1159916.
20. Banniza T.-R., Biraghi A.-M., Correia L., Monath T. First Project-wide Assessment on Nontechnical Drivers, January 2009. 38 p. (Id: FP7-ICT-2007-1- 216041-4WARD/D-1.1). doi: 10.1002/bltj.20370
21. Chowdhury N.M.M.K. Identity Management and Resource Allocation in the Network Virtualization Environment. *Master's Thesis, Cheriton School of Computer Science, University of Waterloo*, January 2009. 107 p.
22. Feamster N., Gao L., Rexford J. How to lease the internet in your spare time. *SIGCOMM Computer Communication Review*, 2007. no. 37, pp. 61–64. doi: 10.1145/1198255.1198265.

*Received 20.03.2017*

## ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.391.037.372

### ОДНОМЕРНЫЕ КОДОВО-СИГНАЛЬНЫЕ ПОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ НОРМАЛИЗУЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БИНАРНЫХ ПАКЕТОВ

*Малофей А.О.<sup>1</sup>, Малофей О.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Ставропольский филиал Краснодарского университета МВД России, Ставрополь, РФ*

<sup>2</sup>*Северо-Кавказский Федеральный университет, Ставрополь, РФ*

*E-mail: skandin@mail.ru*

Предложен способ преобразования последовательностей стационарных эргодических источников, приводящий к построению кодов с неравновероятными кодовыми словами. На основе введения минимальной избыточности получены построения, позволяющие при использовании простейших одномерных сигналов получить приращение энергетической эффективности систем передачи информации. При этом получаемые кодово-сигнальные конструкции близки по характеристикам к ансамблям биортогональных сигналов, но обеспечивают существенно лучшую полосную эффективность. Проведено сравнение разработанных построений с известными методами снижения удельных затрат по показателям частотной и энергетической эффективности. В статье показана возможность каскадного использования рассмотренных кодово-сигнальных конструкций с любым методом блочного или сверточного кодирования, что обеспечивает увеличение энергетического выигрыша соответствующих кодов на 1,3...3,3 дБ.

**Ключевые слова:** сигнал, канал связи, код, энергетическая и частотная эффективность сигнала, кодово-сигнальная конструкция, двоичная последовательность

#### Введение

Построение кодово-сигнальных конструкций (КСК), позволяющих объединить преимущества переборных алгоритмов обработки многоосновных сигналов с простыми алгоритмами декодирования помехоустойчивых кодов, является объектом пристального внимания в теоретических исследованиях последних лет. Это объяснимо с позиций поиска новых возможностей приближения характеристик систем передачи информации к предельной пропускной способности для более интенсивного использования ограниченного физического ресурса каналов связи. Грамотное сочетание сигналов и кодов в единой конструкции позволяет получать методы передачи, близкие к

оптимальным, при разумной сложности алгоритмов обработки.

#### Анализ литературы

Идеи совместного использования методов обработки сложных сигналов и помехоустойчивых кодов возникли синхронно с широким внедрением в практику построения систем передачи информации (СПИ) модуляторов многомерных многоосновных сигналов [1-2]. Как известно, переход к многоосновным ансамблям позволяет существенно повысить частотную эффективность СПИ за счет возрастания скорости передачи в фиксированной полосе частот. Однако весьма существенной платой за это является значительное