

Применение технологии сетей именованных данных в беспроводных ячеистых сетях

М. А. Блинников

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
michael.blinnikov@gmail.com

Аннотация. В настоящей статье приведен краткий обзор передачи пакетов в сетях именованных данных (NDN). Разработаны две модели беспроводных ячеистых сетей с подвижными сетевыми элементами, работающих на основе разных сетевых архитектур – TCP/IP и NDN. Проведен ряд симуляций работы беспроводной ячеистой сети, работающей на протоколах TCP/IP и NDN, при различных условиях. Предложен алгоритм работы шлюза IP/NDN, обеспечивающего совместную работоспособность элементов двух сетевых архитектур.

Ключевые слова: сети именованных данных, беспроводные ячеистые сети, NDN/IP-шлюз

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время практически все сферы человеческой деятельности приобрели некоторую зависимость от инфокоммуникаций. Нарушение работоспособности или недостаточная доступность сети связи способны привести не только к финансовым потерям, но и к ситуациям критическим для здоровья и жизни человека.

Беспроводные ячеистые сети имеют потенциал повышения доступности и устойчивости услуг связи. Однако при использовании беспроводных ячеистых сетей хост-ориентированной архитектуры возникает ряд проблем, которые приводят к неработоспособности сети и остановке предоставления услуг.

В связи с этим в настоящее время представляется актуальным создание методов предоставления доступа к ресурсам сети в условиях ограниченной доступности сети Интернет.

II. ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ИМЕНОВАННЫХ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ ЯЧЕИСТЫХ СЕТЯХ

При использовании беспроводных ячеистых сетей хост-ориентированной сетевой архитектуры для организации уровня доступа возникают следующие проблемы:

- В условиях изолированности от системы DNS поиск информации может быть затруднительным, поскольку пользователи и их устройства не знают, на каком именно узле находятся нужные данные;
- Беспроводные ячеистые сети подразумевают мобильность узлов – из-за постоянного изменения топологии происходят частые перестроения маршрутов, что негативно сказывается на качестве передачи данных.

Для решения вышеперечисленных проблем в настоящей работе предлагается использовать новую сетевую архитектуру – сети именованных данных, NDN, вместо традиционной IP-архитектуры. Использование технологий NDN решает проблемы предоставления информации пользователям внутри одной изолированной ячеистой сети, а также улучшает качество оказания услуг связи.

Для сетевой архитектуры IP характерно то, что для передачи информации устройствам необходимо знать уникальные идентификаторы друг друга (IP-адреса). Согласно NDN данные имеют собственные идентификаторы – «имена», не связанные с устройством, на котором находится информация (пример имени данных – «/SL/images/demo.psd/3»).

Обмен информацией в сетях NDN управляется получателями данных с помощью обмена пакетами двух типов: Interest и Data. Оба NDN-пакета имеют поле имени, идентифицирующее фрагмент данных. Для продвижения NDN-пакетов по сети каждый маршрутизатор управляется тремя структурами данных: таблица ожидающих интересов (Pending Interest Table, PIT), таблица пересылки пакетов (Forwarding Information Base, FIB) и хранилище данных (Content Store, CS).

Передача информации происходит следующим образом:

Устройство, инициирующее запрос, вносит имя желаемой порции данных в Interest-пакет и посылает его в сеть. Когда следующий узел получает Interest-пакет, он в первую очередь сравнивает имя запрашиваемых данных с именами сохраненных в Content Store Data-пакетов. В случае если на узле уже хранится Data-пакет с запрашиваемым именем, то этот Data-пакет сразу отправляется к получателю; если же имя отсутствует в памяти устройства, в таблицу PIT записывается имя из Interest, а также интерфейс, с которого он был получен – данная запись будет храниться там до удовлетворения запроса.

Если имя Interest уже записано в PIT, значит, подобный запрос приходил ранее и еще не был удовлетворен – пакет Interest отбрасывается, а таблица PIT записывает интерфейс, с которого пришел пакет.

После записи Interest в PIT пакет пересылается дальше через интерфейс, указанный в таблице маршрутизации FIB. Если в таблице FIB нет данных о том, куда отправлять пакет, то он отбрасывается.

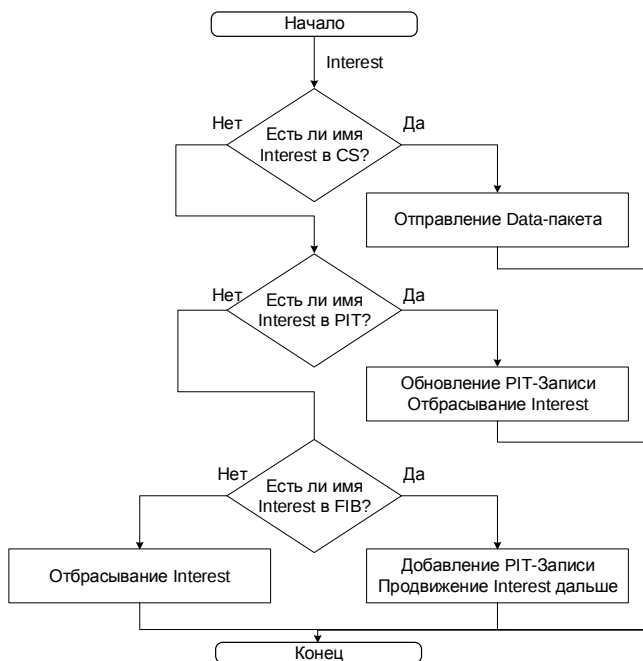


Рис. 1. Передача Interest-пакета в сетях NDN

Когда Interest-пакет достигает источника информации, источник формирует и передает Data-пакет, который должен будет пройти через все устройства в таблице, PIT которых оставлена запись о запрашиваемом имени. Когда Data-пакет прибывает на маршрутизатор, тот находит запись в PIT таблице, направляет пакет на «заинтересованные» в информации интерфейсы, записывает его в свой CS и удаляет запись из PIT. Данный процесс протекает до тех пор, пока устройство, отправившее запрос, не получит Data-пакет. Если же в PIT нет информации о имени пришедшего Data-пакета, то он отбрасывается.

III. БЕСПРОВОДНЫЕ ЯЧЕЙСТЫЕ СЕТИ, ОСНОВАННЫЕ НА СЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУРАХ IP И NDN

Для сравнения характеристик беспроводных ячеистых сетей IP и NDN были разработаны модели в сетевых симуляторах NS-3 и ndnSIM. Результаты, полученные в ходе симуляций, выражены в графиках.

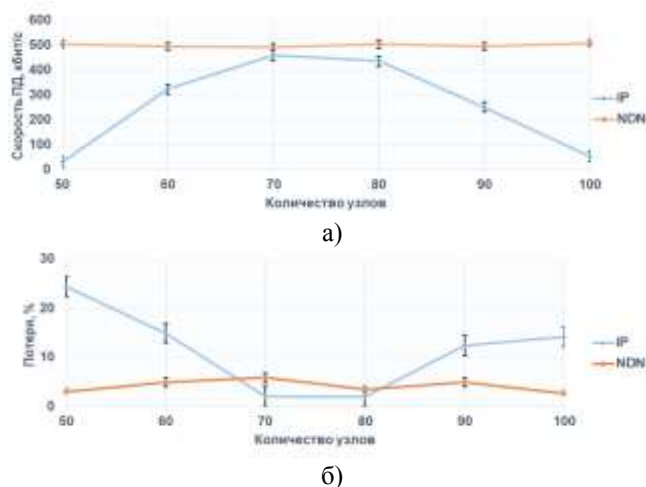
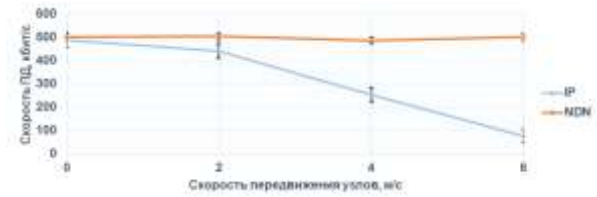
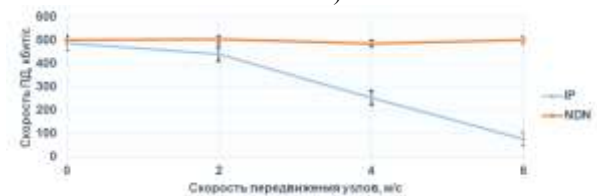


Рис. 2. Зависимость параметров сети NDN от количества узлов ($v = 4$ м/с; $N_{rx} = 1$ узел; $N_{tr} = 1$ узел): а) скорость передачи данных; б) потери

Первая пара графиков показывает, что качество связи в IP-сетях имеет сильную зависимость от количества узлов: при малом количестве элементов задержка и потери высоки из-за того, что узлы рассредоточены по всей территории и могут быть сильно удалены друг от друга, поэтому вероятность выхода одного узла из зоны обслуживания другого и вероятность разрыва маршрута высока, что объясняет высокие потери. При большом количестве узлов таблицы маршрутизации содержат слишком много информации о соседях и из-за постоянно меняющейся топологии должны часто обновляться, что увеличивает время нахождения оптимального маршрута. Изменение плотности сети практически не влияет на качество связи сети NDN, поскольку сохранение данных на узлах создает дополнительные источники информации для повторного запроса сетью того или иного имени.



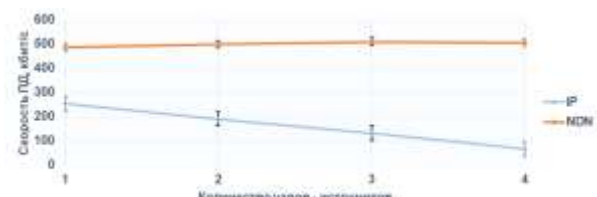
а)



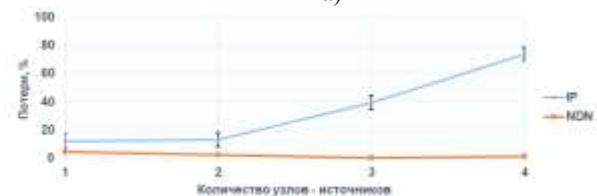
б)

Рис. 3. Зависимость параметров сети NDN от скорости передвижения узлов ($N = 90$ узлов; $N_{rx} = 1$ узел; $N_{tr} = 1$ узел): а) скорость передачи данных; б) потери

То же самое можно сказать о зависимости работы сетей от скорости передвижения узлов. Из-за динамической топологии в IP-сетях возможны частые разрывы и перестроения маршрутов. В сетях NDN мобильность узлов дает возможность сближения дополнительных источников информации с получателем и более быстрому распространению Data-пакетов в сети.



а)



б)

Рис. 4. Зависимость параметров сети NDN от количества узлов-источников ($N = 90$ узлов; $v = 4$ м/с; $N_{tr} = 1$ узел): а) скорость передачи данных; б) потери

Увеличение количества источников информации негативно влияет на передачу данных в IP-сети, поскольку получателю одновременно нужно поддерживать соединение сразу с несколькими узлами, поэтому участок сети вблизи получателя становится «узким» местом.

В NDN сетях данные поступают от ближайшего в любой момент времени источника, независимо от его местоположения, тем самым создавая возможность получения данных через меньшее число транзитных узлов.

Подводя итог настоящего эксперимента, можно резюмировать, что применение архитектуры сетей именованных данных в беспроводных ячеистых сетях, в частности изолированных, не только не уступает современным подходам, но и может обладать лучшими сетевыми параметрами, чем используемая в данный момент архитектура IP, что и доказано результатами проведенных симуляций.

IV. МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ IP И NDN СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ШЛЮЗА

Полный переход на новую сетевую архитектуру или внедрение технологии NDN не может быть мгновенным, следовательно, необходимо обеспечить возможность взаимодействия элементов IP и NDN сетей. На сегодняшний день существует несколько вариантов алгоритмов работы NDN/IP-шлюзов, однако они имеют ряд ограничений и недостатков. Именно поэтому было принято решение разработать собственный алгоритм работы шлюза, позволяющий взаимодействовать элементам двух видов сетей – IP и NDN.

Для корректной работы нового алгоритма IP/NDN шлюза, в частности для формирования префиксов имен, необходимо наличие соединения с системой доменных имен (DNS). Интерфейсы шлюза способны работать в двух режимах IP и NDN, и при их настройке выбирается только один из них. Если режимы портов не совпадают, шлюз добавляет, перед уже имеющимся заголовком сетевого уровня, заголовок другой сетевой архитектуры.

Для преобразования IP в NDN Шлюз направляет обратный запрос DNS-серверу и принимает URL получателя, после чего формирует из него префикс имени и помещает заголовок NDN в пакет. Если информации об URL получателя нет, IP/NDN-шлюз формирует имя в формате IP-адреса

Для преобразования NDN в IP шлюз обращает внимание на то, в каком формате представлен базовый префикс имени. Если префикс представлен IP-адресом, шлюз просто добавляет IP-заголовок с этим адресом. Если префикс имени в формате URL, шлюз направляет запрос DNS-серверу и должен принять IP-адрес, который разместит в IP-заголовке. В случае, если и из префикса имени невозможно узнать IP-адрес, пакет отбрасывается шлюзом.

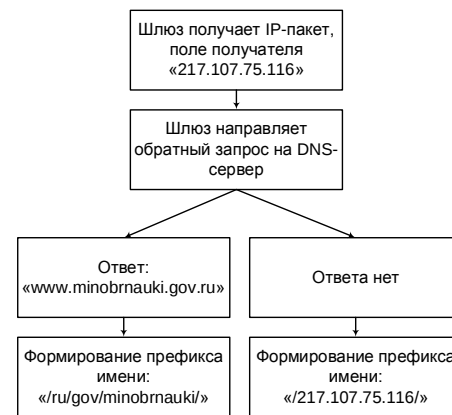


Рис. 5. Пример преобразования пакета IP в NDN

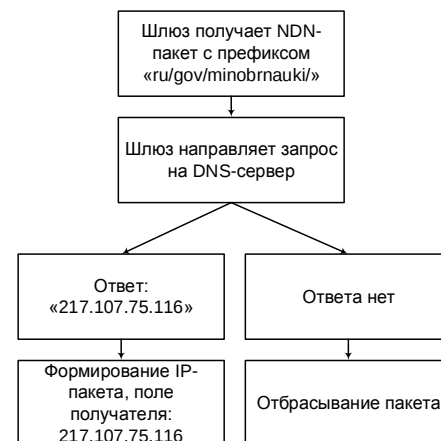


Рис. 6. Пример преобразования пакета NDN в IP

Для симуляции работы гетерогенной беспроводной ячеистой сети использовалась модифицированная модель, разработанная в ndnSIM. Соотношение узлов IP к NDN 50 на 50 процентов. После передачи некоторого объема данных случайным образом выбирались новые источник и получатель, при этом оконечные узлы могли иметь как одинаковые, так и разные архитектуры. В ходе симуляции была исследована доступность узлов рассматриваемой сети относительно друг друга, то есть количество удовлетворенных запросов с ограничением на задержку равной 80 мс.

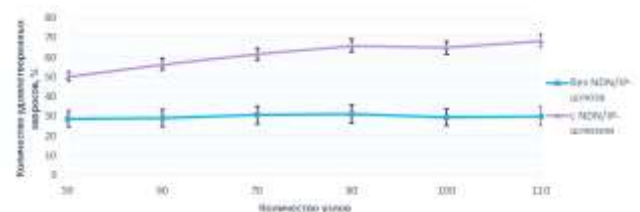


Рис. 7. Зависимость количества удовлетворенных запросов гетерогенной сети от количества узлов ($v = 4$ м/с; $N_{rx} = 1$ узел; $N_{tr} = 1$ узел, $N_{IP}/N_{tr} = 1$, $t_i = 80$ мс)

Из результатов видно, что присутствие в гетерогенной сети разработанного IP/NDN-шлюза увеличивает доступность узлов практически в два раза.

Также было исследовано влияние наличия шлюза на скорость передачи данных и задержку. Средняя задержка в сети с NDN/IP-шлюзом больше, чем при передаче пакетов на IP и NDN-узлах, поскольку построение маршрута от источника до получателя состоит из двух отдельных процессов маршрутизации, также задержку вносит необходимость получения шлюзом ответов на DNS-запросы.

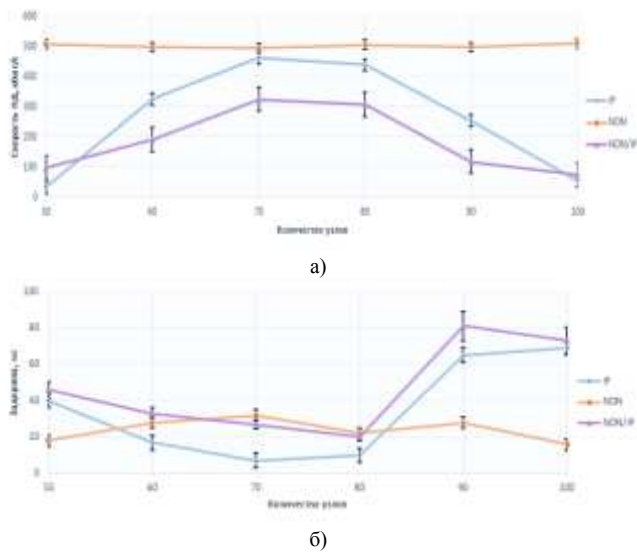


Рис. 8. Зависимость параметров гетерогенной сети с NDN/IP-шлюзом от количества узлов ($v = 4$ м/с; $N_{rx} = 1$ узел; $N_{tr} = 1$ узел, $N_{IP}/N_{tr} = 1$): а) скорость передачи данных; б) задержка

Результаты моделирования показали, что шлюз, работающий в соответствии с представленным алгоритмом, может быть рекомендован к использованию в сетях, узлы которых основаны на разных сетевых архитектурах. Применение данного алгоритма позволяет взаимодействовать узлам разных архитектур, что повышает процент удовлетворенных запросов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Afanasyev A. et al. NDN SIM: NDN simulator for NS-3 //University of California, Los Angeles, Tech. Rep. 2012. V. 4.
- [2] Akyildiz I.F., Wang X. A survey on wireless mesh networks //IEEE Communications magazine. 2005. V. 43. №. 9. Pp.23-30.
- [3] Henderson T.R. et al. Network simulations with the ns-3 simulator //SIGCOMM demonstration. 2008. V. 14. №. 14. P. 527.
- [4] Rohmah Y.N. The performance comparison of forwarding mechanism between IPv4 and named data networking (NDN). Case study: a node compromised by the prefix hijack / Y.N. Rohmah, D.W. Sudiharto, A. Herutomo // 2017 3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech). IEEE. 2017. Pp. 302-306.
- [5] Shannigrahi S. Bridging the ICN deployment gap with IPoC: An IP-over-ICN protocol for 5G networks / S. Shannigrahi, C. Fan, G. White // Proceedings of the 2018 Workshop on Networking for Emerging Applications and Technologies. 2018. Pp. 1-7.
- [6] Zhang L., Estrin D., Burke J. et al. Named data networking (NDN) project // Relatório Técnico NDN-0001, Xerox Palo Alto Research Center-PARC. 2010. V. 157. Pp. 158.
- [7] Блиnnиков М.А., Пирмагомедов Р.Я. Сетевой шлюз для сетей именованных данных //Электросвязь. 2021. №. 5. С. 22-30.
- [8] Блиnnиков М.А., Пирмагомедов Р.Я., Молчанов Д.А., Кучерявый Е.А. Применение технологий именованных данных в беспроводных ячеистых сетях // Электросвязь. 2019. №. 11. С. 22-28.