

УДК 004.77; 004.72

Е. А. Гончар

Белорусский государственный технологический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ NAMED DATA NETWORKING СЕТЕЙ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИХ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ**

Named Data Networking (NDN) сохраняет архитектуру «песочных часов» Интернета (TCP/IP), но вместо отправки данных получателю извлекает данные отправителя на основе идентификации по имени. Целью разработки таких архитектур является предоставление возможности ссылаться на данные независимо от места их размещения или способов доставки. Это обеспечивает естественную групповую доставку, повсеместное кэширование и репликацию объектов данных, что, в свою очередь, повышает как скорость доставки, так и безопасность. В данной статье для моделирования именованных сетей передачи данных использован ndnSIM – симулятор NDN для NS-3. Спроектирована архитектура сети и основные компоненты. Для исследования пропускной способности проведено экспериментальное моделирование. На основе симулятора исследована пропускная способность сети с постепенно увеличивающейся нагрузкой. На основе результатов моделирования установлен вид зависимости пропускной способности от нагрузки внутри сети.

Ключевые слова: симулятор ndnSIM, среда моделирования NS-3, архитектура NDN.

Для цитирования: Гончар Е. А. Моделирование Named Data Networking сетей для исследования их пропускной способности // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2023. №1 (266). С. 84–88. DOI: 10.52065/2520-6141-2023-266-1-14.

E. A. Gonchar

Belarusian State Technological University

**MODELING NAMED DATA NETWORKING
NETWORKS TO STUDY THEIR CAPACITY**

Named Data Networking (NDN) retains the hourglass architecture of the Internet (TCP/IP), but instead of sending data to a recipient, retrieves sender data based on identification by name. The goal of developing these architectures is to allow data to be referenced regardless of where it resides or how it is delivered, allowing for natural multicasting, ubiquitous caching and replication of data objects, which in turn improves both delivery speed and security. In this article, the ndnSIM – NDN simulator for NS-3 is used to simulate named data networks. Designed network architecture and main components. An experimental simulation was carried out to study the throughput. On the basis of the simulator, the throughput of the network with a gradually increasing load is investigated. Based on the simulation results, the type of dependence of throughput on the load within the network is established.

Keywords: simulator ndnSIM, environment NS-3, architecture NDN, simulation, network.

For citation: Gonchar E. A. Modeling Named Data Networking networks to study their capacity. *Proceedings of BSTU, issue 3, Physics and Mathematics. Informatics*, 2023, no. 1 (266), pp. 84–88. DOI: 10.52065/2520-6141-2023-266-1-14 (In Russian).

Введение. Именованная сеть передачи данных (NDN – Named Data Networking) [1–5] стремится стать преемником стека протоколов TCP/IP. NDN запрашивает сеть на основе именованных данных и, в отличие от TCP/IP, обращается к контенту, а не к хостам. NDN использует многопутевую, многоадресную доставку данных с отслеживанием состояния, что позволяет потребителям находить данные в ближайшем источнике. Эти функции также помогают снизить ошибки из-за задержек или сбоев передачи (коэффициент потерь в NDN 0,1%), тем самым повышая устойчивость [6].

Кроме того, NDN обеспечивает плавное переключение при сбое, возможность выбора «наилучшего восходящего потока» и частичное

извлечение данных, что ускоряет доставку контента и снижает общее использование ресурсов, сетевое кэширование, маршрутную пересылку и непосредственную защиту данных. Однако стек протоколов NDN похож на стек, используемый в TCP/IP. Как и IP, сетевой протокол NDN осуществляет доставку дейтаграмм. Развитие и распространение нового сетевого протокола потенциально может быть связано с технологической проблемой производительности, аналогичной TCP/IP.

Для проверки гипотез, исследования технологий и моделирования различных архитектур сетей исследователями была спроектирована и разработана ndnSIM [7]. Она предоставляет общую, удобную для пользователя платформу

моделирования с открытым исходным кодом, основанную на среде моделирования NS-3 [8].

Симулятор ndnSIM2 реализован по модульному принципу с использованием C++ классов для моделирования поведения каждого объекта типа `NDN::Face` (определяет базовую функциональность NDN) (рис. 1). `Face` – это основной компонент, отвечающий за фактическую доставку пакета данных в стек NDN и из него.

Помимо этого, в состав симулятора входят Forwarding Information Table (FIB), Pending Interest Table (PIT) и Content Store (CS) и т. д. для связи с локальными приложениями и другими узлами сети.

Модульная структура позволяет легко модифицировать или заменять любой компонент. Также есть обширный набор интерфейсов и помощников для детального отслеживания каждого компонента и потока трафика NDN.

Проект ndnSIM2 был направлен на достижение полной интеграции с Named Data Networking Forwarder [9]. Общий дизайн ndnSIM, его основные структурные компоненты, а также их взаимодействие друг с другом показаны на рис. 1.

NdnSIM2 позволяет моделировать приложения, написанные для библиотеки `sxxlibrary`. Таким образом, ndnSIM2 предлагает интегрированную среду моделирования для крупномасштабного развертывания и оценки их реальных приложений.

Основная часть. Для моделирования взаимодействия объектов в сети NDN была спроектирована модель сети, содержащая следующие компоненты:

`ndn::L3Protocol`: NS-3 абстракция реализации стека NDN. Его основной задачей является инициализация экземпляра NFD каждого узла, который участвует в сценарии имитации и обеспечивает отслеживание источников для измерения производительности NDN (отправленные/полученные интересы и данные, удовлетворенные/неудовлетворенные интересы);

NFD (NDN Forwarding Daemon): реализация сетевого сервера переадресации именованных сетей данных, которые включают (рис. 2):

`ndn::Forwarder`: основной класс NFD, который владеет всеми узлами и таблицами узла маршрутизатора NDN и реализует конвейеры пересылки NDN;

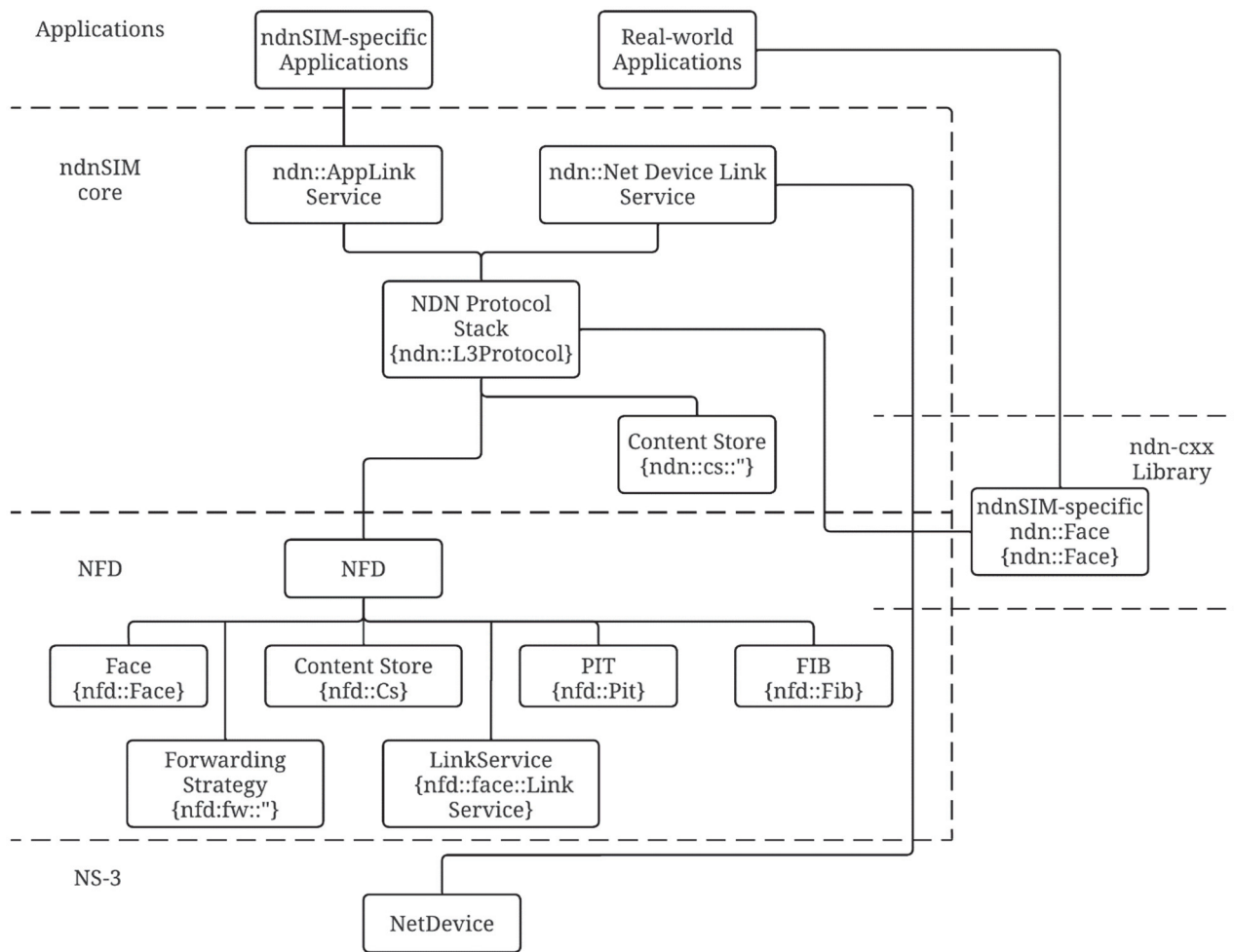


Рис. 1. Структурная схема компонентов ndnSIM

`nfd::Face`: реализует необходимые коммуникационные примитивы для фактической отправки и получения пакетов Interest и Data;

`nfd::face::LinkService`: базовый класс абстракции NFD LinkService. LinkService преобразует пакеты сетевого уровня (Interests, Data и Nacks) в пакеты канального уровня (блоки TLV);

`nfd::face::Transport`: базовый класс абстракции транспорта NFD. Транспорт обеспечивает услугу доставки пакетов с максимальной эффективностью в службу связи узла;

`nfd::Cs`: кэш пакетов данных, который используется NFD;

`nfd::fw::Strategy`: стратегия пересылки в NFD принимает решения относительно того, будут ли, когда и куда пересылаться пакеты Interest;

`nfd::fw::Strategy`: это абстрактный класс, который должен быть реализован разными стратегиями пересылки;

`nfd::Fib`: база информации о пересылке (FIB) используется для пересылки пакетов Interest к одному (или нескольким) потенциальным источникам;

`nfd::measurements::Measurements`: таблица, в которой NFD хранит информацию об измерениях относительно префикса имени. Она используется стратегиями переадресации;

`nfd::strategy selection::StrategyChoice`: таблица содержит стратегию переадресации, выбранную для каждого пространства имен;

`ndn::AppLinkService`: реализация абстракции `nfd::face::LinkService` для обеспечения связи с приложениями;

`ndn::NetDeviceLinkService`: реализация абстракции `nfd::face::LinkService` для обеспечения связи с другими имитируемыми узлами;

`ndn::cs`: структура Content Store (CS), реализованная в `ndnSIM 1.0`. Он включает ряд замещающих политик и в целом является более гибким, чем текущая реализация NFD в CS.

Основным компонентом архитектуры `ndnSIM` является `ndn::L3Protocol`. Этот компонент служит консолидатором для стека протоколов NDN и может быть установлен в каждом смоделированном узле аналогично другим стекам сетевых протоколов, таким как IPv4 и IPv6. Когда он установлен на узле NS-3, то выполняет инициализацию экземпляра NFD, создает необходимые менеджеры NFD, таблицы (PIT, FIB, StrategyChoice) и специальные грани. Кроме того, класс `ndn::L3Protocol` определяет API для обработки регистрации новых экземпляров `nfd::Face` в NFD с использованием метода `AddFace` и предоставляет точки входа NS-3 `TraceSource` для трассировки пакетов.

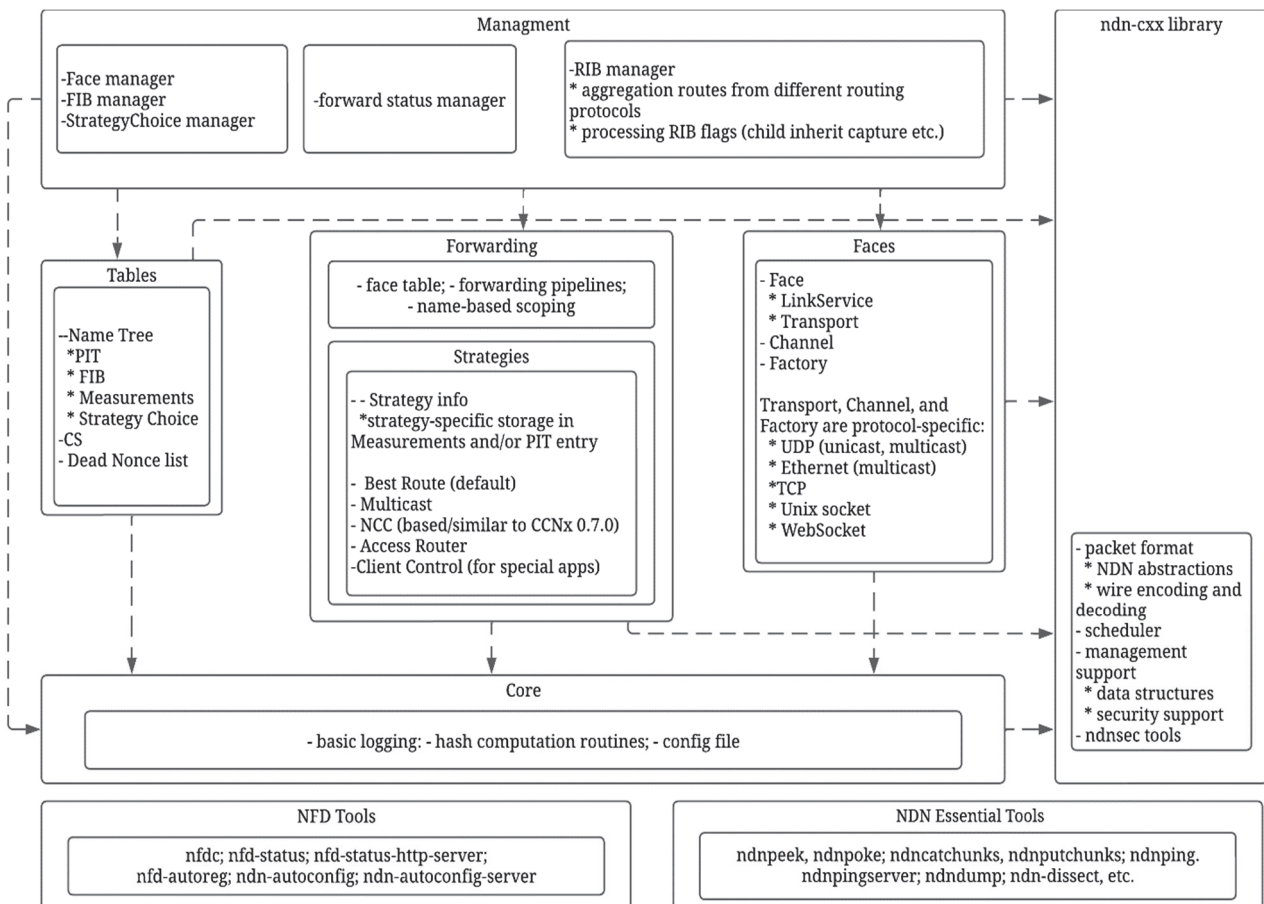


Рис. 2. Структурная схема модуля NFD

В модели для тестирования пропускной способности использовалось N получателей (consumer N) и производителей (producer N) (рис. 3) и два роутера (router1, router2). Между роутерами существует связь один-к-одному. Канал связи между роутерами имеет ограниченную пропускную способность, назовем проблему – «bottleneck» («горлышко бутылки»). Для большей точности измерения для всех каналов связи между потребителями и маршрутизатором, а также производителями и маршрутизатором установлен одинаковую пропускную способность в 10 Mbps.

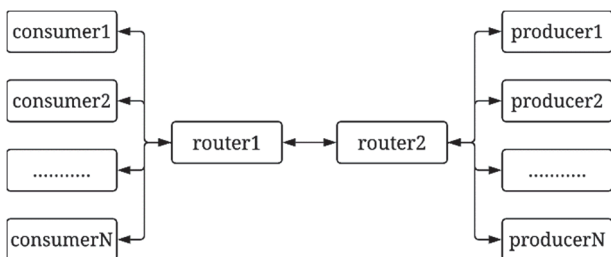


Рис. 3. Схема взаимодействия получателей и производителей в NDN

В ходе экспериментального моделирования в конфигурациях устанавливалось разное количество потребителей контента и производителей. Так, в первом сценарии было установлено три consumer и три producer. Во втором сценарии – четыре consumer и четыре producer. В третьем сценарии определено по пять consumer и producer соответственно. Связь между потребителями и производителями устанавливалась через маршрутизаторы router1 и router2 соответственно.

В процессе моделирования выполнялась рассылка набора пакетов Interest между consumer и producer и устанавливалась разная пропускная способность «bottleneck». В таблице представлены полученные значения перегрузки сети в зависимости от количества consumer и producer (N) и пропускной способности линии. На рис. 4 представлены графики отношения пропускной способности «bottleneck» к значению перегрузки канала передачи. На оси ординат показаны превышения пропускной способности в Kbps, на оси абсцисс – пропускная способность в Mbps.

Согласно полученным данным можно сделать вывод, что превышение пропускной способности прямо пропорционально пропускной

способности канала и в общем случае имеет линейный вид (рис. 4).

Зависимости перегрузки сети

N	Пропускная способность (Mbps)			
	0,5	1	2	3
3	2086	1573	567	–
4	2910	2376	1258	250
5	3800	2992	1719	825

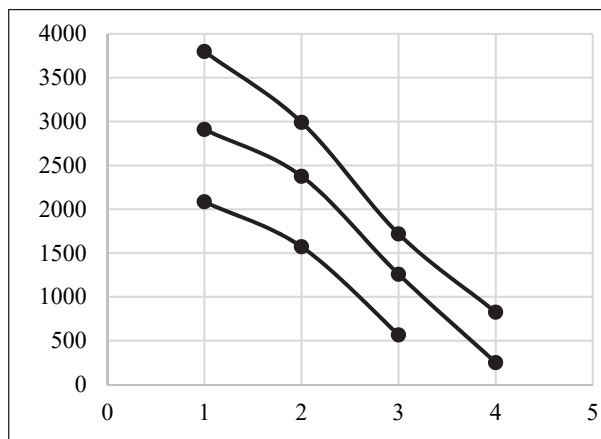


Рис. 4. Зависимость перегрузки сети от количества устройств при изменении пропускной способности

Благодаря прогнозированию перегрузок в сетях NDN можно предотвращать перегрузку каналов связи NDN при замене TCP/IP.

Заключение. Развитие коммуникационных сетей не остановилось на улучшении модели TCP/IP, а получило развитие в виде стека протоколов NDN. Именованные сети данных меняют базовую модель сетевого взаимодействия. Доставка IP пакетов получателями, идентифицируемыми по IP-адресам в NDN, была заменена на именованные запросы данных. Именование позволяет NDN защищать данные непосредственно на сетевом уровне, делая каждый пакет данных проверяемым и, при необходимости, конфиденциальным.

Согласно результатам моделирования установлено, что перегрузка каналов связи при использовании NDN будет повышаться линейно по мере увеличения объектов в сети и снижаться пропускная способность, что соответствует существующим закономерностям в сетях, построенных на основе стека протоколов TCP/IP.

Список литературы

1. Networking named content / V. Jacobson [et al.] // CoNEXT '09: Networking named content: proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies. New York, 2009. P. 1–12.
2. NdnSIM 2: An updated NDN simulator for NS-3. NDN / S. Mastokaris [et al.] // Technical Report NDN-0028, Revision 2. Los Angeles, 2011. P. 1–8.

3. Study of Censorship in Named Data Networking / L. Zhang [et al.] // *Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering: Future Information Technology*. 2016. Vol. 2. P. 145–152. DOI:10.1007/978-3-662-47895-0-18
4. Named data networking / L. Zhang [et al.] // *SIGCOMM*, series 44, Computer Communication Review Named Data Networking. 2014. Issue 3. P. 66–73.
5. NFD developer's guide / A. Afanasyev [et al.] // Technical Report NDN-0028, Revision 2. Los Angeles, 2016. P. 29–31.
6. Named data networking for content delivery network workflows / R. K. Thelagathoti [et al.] // 2020 IEEE 9th International Conference on Cloud Networking (CloudNet). 2020. P. 1–7. DOI: 10.1109/CloudNet51028.2020.9335806.
7. Riley G. F., Henderson T. R. The ns-3 network simulator // *Modeling and tools for network simulation*. 2010. P. 15–34. DOI:10.1007/978-3-642-12331-3_2.
8. Afanasyev A., Moiseenko I., Zhang L. NdnSIM: NDN simulator for NS-3 // Technical Report NDN-0005. Revision 2. Los Angeles, 2012. P. 1–7.
9. Forwarding strategies in vehicular named data networks: A survey / K. Ahed [et al.] // *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, series 34. 2022. Issue 5. P. 1819–1835.

References

1. Jacobson V., Smetters D. K., Thornton J. D., Plass M. F., Briggs N. H., Braynard R. L. Networking named content. *CoNEXT '09: Networking named content: proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking experiments and technologies*. New York, 2009, pp. 1–12.
2. Mastorakis S., Afanasyev A., Moiseenko I., Zhang L. NdnSIM 2: An updated NDN simulator for NS-3. NDN. *Technical Report NDN-0028, Revision 2*. Los Angeles, 2011, pp. 1–8.
3. Zhang L., Estrin D., Burke J., Jacobson V., Thornton J. D., Smetters D. K. Study of Censorship in Named Data Networking. *Advanced Multimedia and Ubiquitous Engineering: Future Information Technology*, 2016, vol. 2, pp. 145–152. DOI: 10.1007/978-3-662-47895-0_18.
4. Zhang L., Afanasyev A., Burke J., Jacobson V., Claffy K. C., Crowley P., Zhang B. Named data networking. *SIGCOMM*, series 44, Computer Communication Review Named Data Networking, 2014, issue 3, pp. 66–73.
5. Afanasyev A., Shi J., Zhang B., Zhang L., Moiseenko I., Yu Y., Wang, L. NFD developer's guide. *Technical Report NDN-0028, Revision 2*. Los Angeles, 2016, pp. 29–31.
6. Thelagathoti R. K., Mastorakis S., Shah A., Bedi H., Shannigrahi S. Named Data Networking for Content Delivery Network Workflows. *2020 IEEE 9th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, 2020, pp. 1–7. DOI:10.1109/CloudNet51028.2020.9335806.
7. Riley G. F., Henderson T. R. The ns-3 network simulator. *Modeling and tools for network simulation*, 2010, pp. 15–34. DOI:10.1007/978-3-642-12331-3_2.
8. Afanasyev A., Moiseenko I., Zhang L. NdnSIM: NDN simulator for NS-3. *Technical Report NDN-0005, Revision 2*. Los Angeles, 2012, pp. 1–7.
9. Ahed K., Benamar M., Lahcen A. A., El Ouazzani R. Forwarding strategies in vehicular named data networks: A survey. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, series 34, 2022, issue 5, pp. 1819–1835.

Информация об авторе

Гончар Егор Андреевич – магистрант кафедры программной инженерии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gonchar@belstu.by

Information about the author

Gonchar Egor Andreevich – Master's degree student, the Department of Software Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gonchar@belstu.by

Поступила после доработки 30.01.2023