

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Николенко Сергея Игоревича на тему «Алгоритмы для сетевых приложений и их теоретический анализ», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика

Представленная диссертация посвящена разработке и анализу алгоритмов, которые могут применяться для ускорения и улучшения работы сетевых устройств в сетях передачи данных. Работа такого устройства (коммутатора, маршрутизатора) обычно делится на два абстрактных уровня: плоскость управления (control plane), где происходит собственно маршрутизация, то есть заполняются таблицы маршрутизации, и обрабатываются служебные протоколы, и плоскость данных (data plane), которая выполняет задачи, формально поставленные плоскостью управления, на реальном сетевом трафике (последовательности входящих сетевых пакетов). В диссертации представлены новые алгоритмы и на плоскости управления, и на плоскости данных.

Глава 1 представляет собой введение, которое вводит цели и задачи исследования, кратко описывает содержание диссертации и основные результаты, приводит список публикаций для апробации работы.

В Главе 2 речь идёт об одной из основных задач плоскости данных: управлении буфером. Сетевой коммутатор должен передавать прибывающие сетевые пакеты от входов к выходам, и при этом из-за неравномерности трафика часть пакетов помещается в один или несколько буферов. Алгоритм управления буфером должен решить, какие пакеты принимать в буфер, выталкивать из него в случае переполнения, и какие обрабатывать и передавать на выход. В диссертации алгоритмы управления буфером исследуются на основе конкурентного анализа, который даёт возможность оценить качество алгоритмов в худшем случае, что важно для непредсказуемого сетевого трафика. В Главе 2 рассмотрен целый ряд разных постановок задачи (разных архитектур буферов), которые приводят к совершенно разным задачам построения и анализа алгоритмов. Верхние оценки конкурентности представляют собой сложные теоремы, которые требуют в разных постановках совершенно разных методов доказательства; в диссертации представлен целый ряд таких теорем, среди которых я особо выделю конструкцию ленивых и Semi-FIFO алгоритмов и доказательства соответствующих оценок.

Глава 3 посвящена другой основной задаче плоскости данных: классификации сетевых пакетов. При классификации заголовков пакета (несколько булевых строк, или полей) последовательно сравнивается с правилами, из которых состоит классификатор; основной задачей является сокращение размеров классификатора (удаление правил или сокращение их ширины) с сохранением семантической эквивалентности, то есть сохранением самой функции классификации. Основным результатом диссертации является новый подход к сокращению размеров классификаторов на основе введённого при участии диссертанта понятия порядковой независимости. Этот подход позволяет радикально сокращать ширину правил классификации, то есть в разы сокращать требующуюся память, ценой одной дополнительной проверки на ложноположительные срабатывания. В Главе 3 рассматривается целый ряд различных постановок задачи, и этот базовый подход

развивается в множество новых алгоритмов, которые позволяют в разы сокращать объём памяти, требуемой для классификации, в том числе мультигрупповых алгоритмов для случая, когда возможно сделать несколько параллельных запросов, разделения классификатора на части в распределённых платформах, алгоритмов приближённой классификации, когда правило может допускать несколько правильных ответов. Мне представляется, что идеи и алгоритмы Главы 3 могут получить существенное дальнейшее развитие не только для сетевых приложений, но и найти применение в других областях информатики, например в анализе формальных концептов.

Глава 4 переходит от плоскости данных к плоскости управления и содержит несколько различных результатов об этом. Во-первых, диссертантом разработаны алгоритмы сокращения структуры сети, основанные на последовательном применении упрощающих преобразований, которые построены так, чтобы сохранять основные свойства маршрутизации, то есть чтобы результаты маршрутизации, полученные на упрощённой сети, сохранялись и на исходной. Во-вторых, диссертант рассматривает задачи распределённых вычислений и распределённой обработки данных типа *compute-aggregate*; здесь получен целый ряд результатов, складывающихся в таксономию задач типа *compute-aggregate* с точки зрения их функции агрегации (оценке объёма результата по объёмам входных данных); оказывается, что для разных функций агрегации возможны разные полиномиальные приближения к оптимальному решению и требуются разные алгоритмы, даётся подробный теоретический анализ разработанных алгоритмов. В-третьих, разработаны и проанализированы алгоритмы для эффективного распределения запросов на электроэнергию в многосвязных микросетях. В-четвёртых, разработан и проанализирован новый метод распределённого подсчёта пакетов в потоках сетевого трафика, устойчивый к сетевому шуму, введены и проанализированы разные типы этого шума, доказаны гарантии устойчивости в худшем случае.

Глава 5 является заключительной; в ней подробно перечисляются основные результаты диссертации, а также даётся краткий обзор направлений для дальнейших исследований.

В целом, диссертация С.И. Николенко представляет собой важную научную работу, которая существенно продвигает мировой уровень исследований сразу по целому ряду направлений. Автор демонстрирует высокий уровень исследований; многие доказанные в диссертации теоремы имеют сложные доказательства, а введённые в ряде глав идеи могут иметь глубокие последствия для разных областей информатики и открывают перспективы для новых исследований. В целом полученные результаты представляют собой крупное научное достижение в области теоретической информатики и кибернетики. Работа написана хорошим научным языком и легко читается, и поражает полным отсутствием опечаток и мелких огрехов.

Особо отмечу уровень апробации диссертации: результаты работы были представлены в 14 публикациях в ведущих журналах (Q1 WoS/Scopus), в том числе *IEEE Transactions on Networking* (7 работ), *Computer Networks* (2 работы), *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *J. of Scheduling*, *J. of Parallel and Distributed Computing*, *J. of Computer and System Sciences*, *J. of Network and Computer Applications*, а также в 13 публикациях в трудах ведущих конференций (A/A* по рейтингу CORE), в том числе *SIGCOMM*, *INFOCOM* (4 работы), *ICNP* (6 работ), *ICDCS*, не считая других публикаций

(общим числом 42). Это ещё раз подтверждает высочайший уровень исследования и доказывает, что основные результаты диссертации на момент опубликования были не просто новыми, а существенно важными для своих дисциплин, определяя мировой уровень в них.

Небольшие замечания, которые носят косметический характер и не умаляют заслуг диссертанта:

- в Главе 1 рассматривается много разных постановок задачи, иногда с немного разными обозначениями; хотя все обозначения введены корректно в каждом случае, было бы лучше сделать единую систему обозначений для всей главы;
- надписи на многих рисунках в русской версии диссертации оставлены на английском языке;
- на с.160 русской версии не переведена подпись к рис. 4.3.

Таким образом, диссертация Николенко Сергея Игоревича на тему «Алгоритмы для сетевых приложений и их теоретический анализ» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Николенко Сергей Игоревич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.3. Теоретическая информатика, кибернетика. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета,

доктор физико-математических наук, профессор, руководитель
Департамента анализа данных и искусственного
интеллекта Национального исследовательского
университета «Высшая школа экономики»

15 августа 2022 года

Кузнецов Сергей Олегович

*Подпись Кузнецова С.О. заверено
лицензией по персоналу Иванова В.В.*

