

УДК 004.382.2

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804162017103245>Ю. И. Барынин<sup>1</sup>, студент, Д. А. Бугай<sup>2</sup>, студент

## МНОГОПУТЕВАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

**En**

Based on the comparative analysis, there are recommendations for applying of existing the shortest path search algorithms and maximum flow in the network for network architectures of varying complexity. Based on the graph theory, algorithms for multi-threaded routing and a search algorithm for maximum bandwidth are analyzed for representing networks.

The concept of multi-path routing is considered in the software-configurable network. For the different number of nodes different algorithms for finding the shortest path present different efficiency: Floyd-Uorshell algorithm is the most effective with a relatively small number of nodes (1 to 10), the algorithm of Bellman-Moore shows the greatest effectiveness with the average number of nodes (11 to 18), with a large number of nodes (19 and over), the most effective is the Dijkstra's algorithm, and algorithms for finding the maximum capacity were considered. Their performance is very close, but still the Diniz algorithm is a little better.

We also consider the multipath routing organization in the software-reconfigurable networks. The maximum throughput opportunity of the network, emergency situations solutions of the switch failure, delete, the route opening and rebuilding are analyzed.

The obtained algorithm, switched-on in the controller of the program-configurable network, allows reducing the delay of delivery packets by creating several communication channels between the final devices and increasing the network bandwidth. As a result the optimizing of the network applications functioning and the efficiency of final users are increased.

**Ua**

Представлено спосіб багатопотокової маршрутизації застосований у програмно-конфігурованій мережі. На базі проведеного порівняльного аналізу сформульовані рекомендації щодо застосування існуючих алгоритмів пошуку найкоротшого шляху і максимального потоку у мережі для архітектур мережі різної складності. Виходячи із теорії графів для представлення мереж проаналізовані алгоритми багатопотокової маршрутизації і алгоритм пошуку максимальної пропускної здатності.

Отриманий алгоритм, що включено у контролер програмно-конфігурованій мережі, дозволяє зменшити затримку доставки пакетів за рахунок створення декількох каналів зв'язку між кінцевими пристроями і збільшити пропускну здатність мережі. У результаті оптимізації функціонування мережевих додатків підвищуються можливості і ефективність роботи кінцевих користувачів.

<sup>1</sup> НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сикорського», факультет інформатики і висхідної техніки

<sup>2</sup> НТУУ «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сикорського», факультет інформатики і висхідної техніки

## Введение

В последнее время все большую популярность завоевывает программно-конфигурируемая архитектура компьютерных сетей [1]. Такая архитектура имеет следующие преимущества: увеличивается эффективность сетевого оборудования на 25–30%, уменьшаются на 30% эксплуатационные затраты, увеличивается управляемость и безопасность сети, появляется возможность программно создавать и оперативно загружать новые сервисы в сетевое оборудование [2].

В *SDN* (*software defined networking*) уровень управления сетью отделен от устройств передачи данных (маршрутизаторы, коммутаторы и т. п.) за счет переноса функций управления в приложения, которые работают на отдельном устройстве (контроллере).

Для многопутевой маршрутизации более распространенным является протокол *ECMP* (*Equal Cost Multi Path*) [3]. Маршрутизаторы сети используют данный протокол для маршрутизации потоков трафика с одинаковым местом назначения через разные пути следования с одинаковыми стоимостями передачи.

Технология многопутевой маршрутизации заключается в создании нескольких путей прохождения трафика между пограничными коммутаторами программно-конфигурируемой сети. Данный принцип изображен на рис. 1.

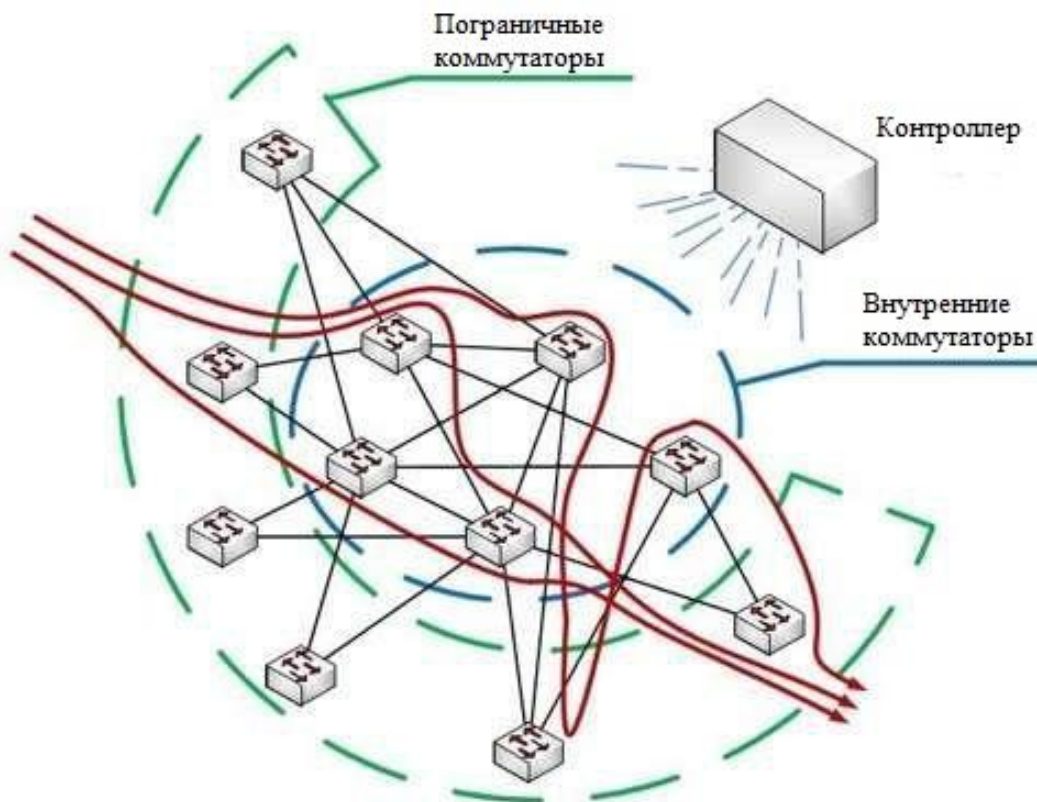


Рис. 1. Многопутевое решение маршрутизации [4]

**Постановка задачи**

Цель работы – рассмотрение концепция многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемой сети. Эффективность работы разных алгоритмов для различного количества узлов. Также будут рассмотрены алгоритмы нахождения максимальной пропускной способности.

**Организация многопутевой маршрутизации в программно-реконфигурируемых сетях**

В программно-конфигурируемых сетях, благодаря тому, что при передаче трафика коммутаторы оперируют только портами и адресами заголовков канального, сетевого и транспортного уровней, на контроллере можно реализовать различные пути следования трафика для различных характеристик потока, например, можно задать путь прохождения нескольких *TCP (transmission control protocol)*-сессий по разным каналам. К преимуществам данного подхода можно отнести: максимально продуктивное использование возможности и пропускные способности сети, уменьшение времени простоя трафика при обрыве какого-либо из каналов благодаря быстрому переключению на альтернативный маршрут, увеличение надежности доставки чувствительных к потерям и задержкам сервисов, путем отправки корректирующих кодов (например, код Хэмминга) или дублирующего трафика по другим маршрутам при небольшом увеличении трафика в сети.

Главная задача при этом ложится на контроллер и заключается в определении им маршрутов передачи пакетов и выдачи инструкций сетевым устройствам по обработке трафика. С точки зрения обеспечения качества обслуживания маршруты нужно строить согласно следующим принципам:

- должна выполняться равномерная загрузка сети.
- маршруты должны строиться, исходя из требований сетевого приложения, в том числе с учетом пропускной способности;
- маршруты должны иметь наименьшую стоимость в терминах сетевого приложения, требующего данный маршрут.

Основной задачей многопутевой маршрутизации является построение маршрута минимальной стоимости. В теории графов существует несколько алгоритмов, позволяющих строить минимальные пути во взвешенном ориентированном графе, среди которых наиболее часто используются: алгоритм Дейкстры, алгоритм Беллмана-Мура, алгоритм Флойда-Уоллелла.

Для оценки сложности алгоритмов и времени реализации на произвольной программно-конфигурируемой сети была рассмотрена работа

данных алгоритмов в компиляторе и замерено время, за которое программа найдет кратчайший путь [4].

Результаты эксперимента замера времени построения маршрута при моделировании алгоритмов Дейкстры, Беллмана-Мура и Флойда-Уоршелла представлены на рис. 2.

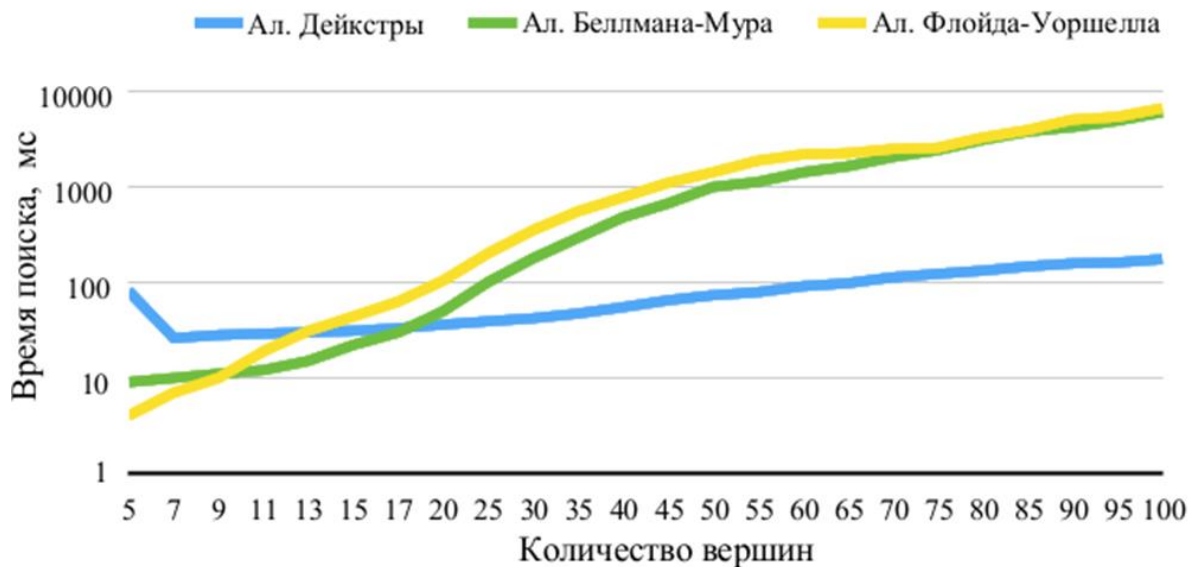


Рис. 2. Время поиска пути в зависимости от количества вершин

На программно-конфигурируемых сетях малого размера с количеством вершин от 5 (теоретически от 1) и до 10, самым эффективным алгоритмом является алгоритм Флойда-Уоршелла. Начиная с 11 вершин и до 18 самым быстрым временем построения маршрута обладает алгоритм Беллмана-Мура, а в случае 19 и более вершин – алгоритм Дейкстры.

В результате выбор оптимального алгоритма зависит от количества узлов в программно-конфигурируемой сети.

### Поиск максимальной пропускной способности

При организации многопутевой маршрутизации, также необходимо учитывать максимальную пропускную способность сети для прогнозирования распределения информационных потоков и обработки ситуаций превышения пропускной способности.

Существуют следующие алгоритмы, позволяющие вычислить максимальный поток между двумя узлами во взвешенном ориентированном графе [5]: алгоритм Форда-Фалкенсона, алгоритм Диница.

В работе [4] приведена оценка эффективности данных алгоритмов при вычислении максимального потока в произвольной сети. Была рассмотрена работа данных алгоритмов и было замерено время, за которое программа найдет максимальный поток между двумя вершинами. Результаты эксперимента замера времени построения полного потока между

двумя вершинами при моделировании алгоритмов Форда - Фалкерсона и Диница представлены на рис. 3.

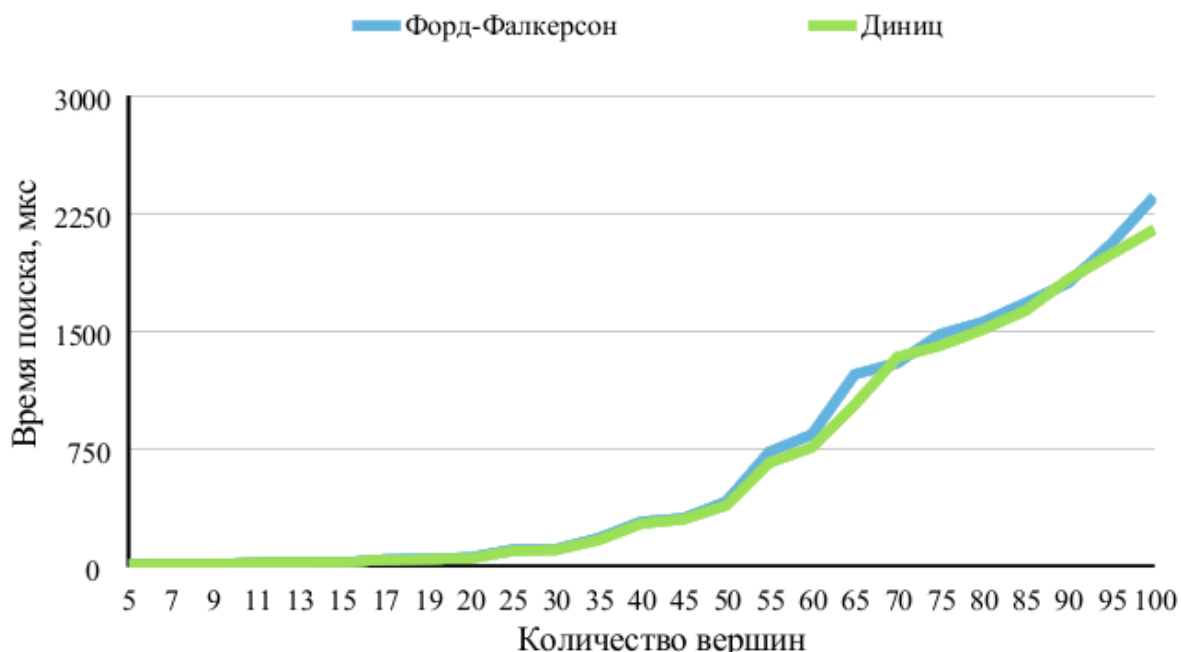


Рис. 3. Время нахождения максимального потока для алгоритмов Форда– Фалкерсона и Диница

Как видно из рис. 3, значения времени поиска при использовании обоих алгоритмов отличаются незначительно. Но все же при увеличении числа вершин алгоритм Форда-Фалкерсона выполняется несколько медленнее алгоритма Диница. Таким образом, для вычисления максимальной пропускной способности был выбран алгоритм Диница.

### Удаление, обрыв и перестроение маршрутов

При исчезновении трафика поток по-прежнему будет резервировать ресурсы на канале, что ведет к потере производительности канала. Поэтому при обнаружении контроллером пропадания трафика на потоке в течении 3-х секунд данный поток удаляется из канала на стороне контроллера, чтобы исключить резервирование не используемых в реальности ресурсов.

После некоторого количества операций резервирования и отмены потоков в сети возможна ситуация неравномерной загрузки каналов, несмотря на изначально сбалансированную каналов. Поэтому необходимо периодически перестраивать все маршруты в зависимости от эксплуатационных характеристик сети, интенсивности прихода новых и отмены старых маршрутов.

Также, во время работы сети часто возникают нештатные ситуации выхода из строя коммутаторов, отключения сетевых кабелей и прочих проблем. Такие ситуации в программно-конфигурируемой сети должны обрабатываться быстро и эффективно.

Каждый коммутатор программно-конфигурируемой сети обладает функционалом мониторинга физического и логического соединения своих портов. В случае потери связи на одном из портов коммутатор сигнализирует об этом контроллеру, а также начинает пересылать ему данные по безопасному каналу. Контроллер удаляет эту дугу из таблицы связности сети и перестраивает маршрут согласно новым требованиям.

### **Выводы**

Проделанная работа по рассмотрению концепции многопутевой маршрутизации в программно-конфигурируемой сети показала:

- для различного количества узлов разные алгоритмы нахождения короткого пути имеют разную эффективность: алгоритм Флойда-Уоршелла наиболее эффективный при относительно небольшом количестве узлов (от 1 до 10), алгоритм Беллмана-Мура показал наибольшую эффективность при среднем количестве узлов (от 11 до 18), при большом количестве узлов (от 19 и более) наиболее эффективным оказался алгоритм Дейкстры;
- эффективность алгоритмов нахождения максимальной пропускной способности достаточно близка, но всё же алгоритм Диница оказался немного лучше.

Из всего вышесказанного можно сделать выводы, что совмещение технологии многопутевой маршрутизации и программно-конфигурируемых сетей повышает эффективность использования оборудования и качество обслуживания.

### **Список использованной литературы**

1. *Робачевский А.* Программируемый Интернет [Электронный ресурс] / А. Робачевский – Режим доступа: <http://www.ripn.net/articles/SDN/>. Дата доступа: 10.04.2017.
2. *Chemeritskiy E.* On QoS management in SDN by multipath routing [Электронный ресурс] / E. Chemeritskiy, R. Smeliansky // Science and Technology Conference (Modern Networking Technologies) (MoNeTeC). – 2014. – Режим доступа к ресурсу: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=6995581&sortType>. Дата доступа: 10.04.2017.
3. BGP and equal-cost multipath (ECMP). [Электронный ресурс] // Noction. – 2016. – Режим доступа к ресурсу: <https://www.noction.com/blog/equal-cost-multipath-ecmp>. Дата доступа: 10.04.2017.
4. *Черников А. С.* Многопоточная маршрутизация в программно-конфигурируемых сетях / А. С. Черников, А. С. Паус. // Радиооптика. – 2016. – №6. – С. 35–46.

5. Корзников А. Д. Новый алгоритм решения задачи о максимальном потоке / А. Д. Корзников. // Наука и техника. – 2013. – №5. – С. 70–75.