

# DESIGN OF MODEL OF LOAD-BALANCING ROUTING FOR SOFTWARE DEFINED NETWORKS

Lemeshko A.V., Vavenko T.V., Goriunov A.A.  
 Kharkov National University of Radioelectronics  
 14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine  
 Ph.: (057) 7021320, e-mail: tv\_vavenko@mail.ru

*Abstract* — The paper describes a proposed flow model of load-balancing routing by two criteria for software defined network such as the coefficient of maximum link utilization, and the average multipath delay. The results of comparative analysis of solutions of the routing problem with proposed model against those of the previously known models have been presented.

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАРШРУТИЗАЦИИ С БАЛАНСИРОВКОЙ НАГРУЗКИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

Лемешко А. В., Вавенко Т. В., Горюнов А. А.  
 Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
 пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина  
 тел.: (057) 7021320, e-mail: tv\_vavenko@mail.ru

*Аннотация* — В работе предложена потоковая модель маршрутизации для программно-конфигурируемых сетей с балансировкой нагрузки по двум критериям: по коэффициенту максимальной загрузки каналов телекоммуникационной сети, а также по средней многопутевой задержке. Приведены результаты сравнительного анализа решения задачи маршрутизации в рамках предложенной и ранее известных моделей.

### I. Введение

С каждым днем все большее внимание ученых, которые занимаются разработкой новых технологий в области телекоммуникаций, направлено на концепцию программно-конфигурируемых сетей (Software Defined Networks, SDN) [1]. Главная отличительная черта SDN состоит в отделении управляющего уровня от уровня передачи, что предполагает перенос ряда основных управляющих функций от операционных системы (ОС) узлов (маршрутизаторов и коммутаторов) телекоммуникационной сети (ТКС) к сетевой ОС. Развитие и внедрение концепции SDN требует усовершенствования существующих телекоммуникационных технологий и их адаптацию под новые условия. И в первую очередь это касается протоколов маршрутизации, которые в SDN решаются централизованно на специальных серверах. Эффективность маршрутизации и достигаемый при этом уровень качества обслуживания (Quality of Service, QoS) традиционно во многом зависит от адекватности математических моделей и методов, используемых при разработке соответствующих протоколов [2—4].

В данной работе предложена потоковая модель маршрутизации с балансировкой нагрузки с реализацией многопутевой стратегии маршрутизации, которая ориентирована на SDN. Новизна модели заключается в том, что наряду с критерием маршрутизации, связанным с минимизацией максимальной загрузки каналов связи, который используется в большинстве известных моделей, предлагается использовать дополнительный критерий, который связан с показателями QoS.

### II. Основная часть

На сегодняшний день протоколы маршрутизации свои классические функции расширяют в направлении поддержки дополнительных возможностей, среди которых балансировка нагрузки каналов ТКС с реализацией многопутевой стратегии маршрутизации. В связи с этим за основу разработанной модели выбрана модель многопутевой маршрутизации с балансировкой

нагрузки по коэффициенту максимальной загрузки каналов ТКС, которая соответствует технологии Traffic Engineering, представленная в [2]. Пусть структура ТКС описывается с помощью графа  $G = (V, E)$ , где  $V$  — это множество маршрутизаторов сети,  $E$  — множество каналов сети. Для каждой дуги  $(i, j) \in E$  характерна ее пропускная способность  $c_{i,j}$ . Каждому трафику из множества  $K$  сопоставлен ряд параметров: пусть  $d_k, s_k, t_k$  — интенсивность  $k$ -го трафика, маршрутизатор-источник пакетов и маршрутизатор-получатель соответственно. Управляющей переменной служит величина  $x_{i,j}^k$ , которая характеризует долю  $k$ -го трафика, протекающего в канале  $(i, j) \in E$ . В соответствии с физикой решаемой задачи на переменные  $x_{i,j}^k$  накладываются следующие ограничения:

$$0 \leq x_{i,j}^k \leq 1. \quad (1)$$

С целью недопущения потерь пакетов на маршрутизаторах и в сети в целом, в модели предусмотрено условие сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = 0, & k \in K, i \neq s_k, t_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = 1, & k \in K, i = s_k, \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{i,j}^k - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{j,i}^k = -1, & k \in K, i = t_k. \end{cases} \quad (2)$$

Для предотвращения перегрузки в каналах ТКС необходимо выполнить условия:

$$\sum_{k \in K} d_k x_{i,j}^k \leq \alpha c_{i,j}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, (i, j) \in E, \quad (3)$$

где  $\alpha$  — динамически управляемый порог максимальной загрузки каналов ТКС.

В ходе решения задачи маршрутизации в качестве первого критерия оптимальности процесса балансировки нагрузки минимизируется максимальный порог загруженности каналов ТКС:

$$\min \alpha . \quad (4)$$

Так как одним из ключевых показателей качества обслуживания является многопутевая задержка, рассмотрим ее в качестве дополнительного критерия при решении задачи маршрутизации [3].

В качестве второго критерия оптимальности процесса балансировки нагрузки выбран следующий. С целью обеспечения одинаковых вдоль всех путей доставки пакетов  $k$ -го трафика средних задержек, а также для устранения контуров (петель) в рассчитываемых маршрутах обслуживания трафика контурные задержаемые по средним задержкам для каждого трафика  $k \in K$  приравниваются к нулю:

$$\bar{r}^k = 0, \quad k \in K, \quad (5)$$

где  $\bar{r}^k$  — вектор контурных задержек, координаты

$r_i^k$  которого определяют сумму задержек вдоль каждого независимого контура в структуре ТКС при передаче пакетов  $k$ -го трафика;  $r$  — количество независимых контуров.

Для определения количества независимых контуров используется следующее выражение:

$$r = n - m + 1, \quad (6)$$

где  $n$  — количество каналов связи,  $m$  — количество узлов ТКС.

В рамках предлагаемой потоковой модели (1)—(5) задача поиска множества оптимальных путей сведена к задаче нелинейного программирования с критериями (4) и (5) при наличии ограничений (1)—(3). Выполнение условия (4) позволяет получить наименьшее значение коэффициента максимальной загрузки, что способствует эффективному использованию ресурсов сети. Ограничение (5) обеспечивает балансировку нагрузки при решении задачи маршрутизации по средней многопутевой задержке, при этом гарантируя, что средние задержки пакетов вдоль путей доставки пакетов будут равны между собой.

Для исследования предложенной модели (Модель 1) был проведен ее сравнительный анализ с ранее известными моделями маршрутизации, в том числе с моделью маршрутизации с балансировкой нагрузки по критерию, связанному с минимизацией коэффициента максимального использования каналов ТКС (Модель 2) [2] и моделью маршрутизации с балансировкой нагрузки по критерию, основанному на минимизации взвешенной суммы длин очередей на интерфейсах маршрутизаторов в ТКС (Модель 3) [4]. В результате решения задачи маршрутизации для разных исходных данных установлено, что использование предложенной модели позволяет улучшить значения многопутевой задержки в среднем от (10...16) % до (35...39) % без значительного изменения вероятности доставки пакетов. Для частного случая результаты сравнительного анализа по показателю средней многопутевой задержке показаны на рис. 1. Кроме этого, полученные в результате решения задачи маршрутизации одинаковые значения средних задержек вдоль путей, способствуют минимизации джиттера пакетов, обусловленного реализацией многопутевой стратегии маршрутизации.

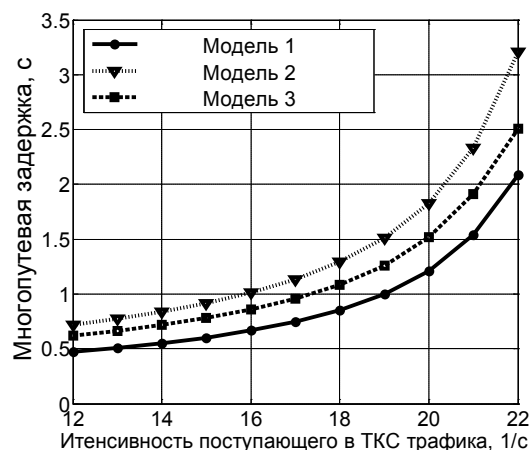


Рис. 1. Результаты решения задачи маршрутизации в рамках различных моделей.

Fig. 1. The results of the solutions of the routing problem within the frames of different models

### III. Заключение

В работе предложена потоковая модель многопутевой маршрутизации с балансировкой нагрузки для SDN. Новизна модели состоит в том, что балансировка нагрузки осуществляется одновременно по двум критериям: по коэффициенту максимальной загрузки каналов ТКС и по дополнительным ограничениям, которые позволяют получить одинаковые вдоль всех путей доставки пакетов средние задержки. Установлено, что использование предложенной модели позволяет улучшить значения многопутевой задержки в среднем от (10...16) % до (35...39) % без значительного изменения вероятности доставки пакетов. Применительно к SDN сетям процесс маршрутизации в рамках предложенной модели будет состоять в следующем. Серверы с сетевой ОС производят мониторинг состояния сети и периодически или по требованию обновляют данные о структуре сети, пропускных способностях каналов (номинальных и допустимых), характеристиках трафика, требованиях к QoS и др. Реализация предложенной модели на практике целесообразна именно в SDN, в которых некоторое усложнение процесса расчета может быть компенсировано более высокой производительностью серверов сетевой ОС по сравнению с классическими IP-маршрутизаторами.

### IV. References

- [1] Foster N., Freedman M.J., Guha A., Harrison R., Katta N.P., Monsanto C., Reich J., Reitblatt M., Rexford J., Schlesinger C., Story A., Walker D. Languages for software-defined networks. *IEEE Communications Magazine*, 2013, vol. 51, No 2, pp. 128-134.
- [2] Méridol P., Pansiot J., Cateloin S. Improving Load Balancing with Multipath Routing. *17th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN*, 2008, pp. 54-61.
- [3] Lemeshko A.V. Probabilistic-Temporal Model of QoS-Routing with Precomputation of Routes under the Terms of Non-Ideal Reliability of Telecommunication Network. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2007, vol. 66, No 13, pp. 1151-1166.
- [4] Sterin V.L., Vavenko T.V., Eferov D.M. Marshrutizacija s balansirovkoj nagruzki po dljne ocheredi na uzlah telekomunikacionnoj seti [Flow model with load balancing routing by queue length in software-defined networks]. *Vestnik NTU "HPI". "Novye reshenija v sovremennyh tehnologijah"*, 2013, vol. 16, pp. 45-49.