

ПОТОКОВАЯ МОДЕЛЬ МАРШРУТИЗАЦИИ В СЕТЯХ ДОСТАВКИ КОНТЕНТА

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

Ключевые слова: сеть доставки контента, маршрутизация, маршрутизация запросов, потоковая математическая модель.

В рамках сетей доставки контента CDN одной из важных задач является маршрутизация запросов пользователей, которая объединяет в себе процедуру выбора контент-сервера с традиционной маршрутизацией трафика от выбранного сервера до пользователя, запросившего услугу. В статье предложена потоковая математическая модель, которая обеспечивает формализацию и согласованное решение задач традиционной многопутевой маршрутизации в транспортной телекоммуникационной и задачи маршрутизации запросов в CDN.

M.B. Khader

FLOW MODEL OF ROUTING IN CONTENT DELIVERY NETWORKS

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv

Keywords: content delivery network, routing, request-routing, flow mathematical model.

One of the important problems that are solved in the content delivery networks (CDN) is request routing which combines the content server choosing and traditional routing from the chosen server to the user. The paper proposes a flow mathematical model which allows formulating and solving the traditional task of multipath routing in transport telecommunications network in concordance with the problem of request routing in CDN.

Сети доставки контента (Content Delivery Network, CDN) представляют собой одну из разновидностей мультисервисных телекоммуникационных сетей, и их основное назначение заключается в хранении контента и организации эффективной его доставки интернет-пользователям. Функционально в рамках любой сети CDN можно выделить два компонента: телекоммуникационную сеть как транспортную основу передачи контента и совокупность серверов, обеспечивающих хранение данного контента. Особенностью CDN является наличие множества периферийных серверов, называемыми репликами (replica), которые географически расположены на удалении от основного сервера и друг от друга, но вблизи от потребителя услуг [1 – 3]. Задача маршрутизации запросов в CDN заключается в перенаправлении запроса пользователя на «ближайший» в рамках некоторой заранее выбранной метрики сервер, основной или периферийный. В целом маршрутизация запросов нацелена на снижение задержек доставки контента путем балансировки нагрузки на серверы CDN и телекоммуникационную сеть, непосредственно транспортирующую данный контент [1 – 3].

Таким образом, маршрутизация запросов путем динамического выбора источника контента и создаваемого при этом трафика реализует распределение сетевой нагрузки и в конечном итоге определяет качество обслуживания пользователей. При этом с целью обеспечения максимальной производительности сети доставки контента реализуемый в ней алгоритм маршрутизации запросов должен быть адаптивным, т.е. учитывать текущую загруженность сетевых и вычислительных ресурсов и обеспечивать сбалансированное их использование. Как результат задача поиска наиболее эффективного алгоритма маршрутизации запросов в CDN является актуальной и ее решению посвящен ряд научных работ [1 – 3].

Известно, что максимальная эффективность процесса маршрутизации может быть достигнута только лишь при условии, во-первых, наличия адекватной математической модели сети доставки контента, во-вторых, формулировки маршрутизации как оптимизационной задачи с задействованием для ее решения методов оптимального управления. При построении математической модели CDN будем исходить из того, что в процессе передачи трафика участвуют два компонента: транспортная телекоммуникационная сеть и периферийные серверы,

выступающие, фактически, в роли источников трафика. В этой связи введем следующие множества: N – множество узлов (маршрутизаторов) транспортной телекоммуникационной сети, G_l – множество периферийных серверов, на которых доступен контент l -го типа, $G_l \in G$, G – множество всех серверов CDN. Для описания транспортной телекоммуникационной сети введем переменные x_{ij}^{kl} , которые указывают на долю трафика, передаваемого по тракту передачи (i, j) от i -го маршрутизатора к j -му, где индекс l отражает тип передаваемого контента, а индекс k связан с парой отправитель-получатель $\{s_k, t_k\}$, $s_k \in G_l$, $t_k \in N$. Выражение $t_k \in N$ означает, что в качестве получателя в рамках предлагаемой математической модели будем рассматривать не непосредственно конечного пользователя, а узел транспортной телекоммуникационной сети, к которой он подключен.

С целью достижения максимальной эффективности использования сетевых ресурсов будем ориентироваться на многопутевой способ доставки контента. В этой связи на введенные переменные накладываются ограничения

$$0 \leq x_{ij}^{kl} \leq 1, \quad k \in K, \quad l \in L, \quad (i, j) \in E, \quad (1)$$

где K – множество пар отправитель-получатель в обслуживаемой сети доставки контента; L – множество возможных типов контента, распространяемых данной сетью; E – множество трактов передачи транспортной телекоммуникационной сети.

Потоковый характер разрабатываемой модели и переменных x_{ij}^{kl} обуславливает необходимость введения в модель закона сохранения потока в узлах транспортной телекоммуникационной сети [4] с адаптацией его для решения задачи маршрутизации запросов в CDN:

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^{kl} - \sum_{j \in N} x_{ji}^{kl} - \sum_{g \in G_l} y_g^{kl} x_{gi}^{kl} = \begin{cases} 0, & \text{если } i \neq s_k, t_k; \\ -1, & \text{если } i = t_k; \end{cases} \quad (2)$$

где y_g^{kl} – переменная использования g -го сервера, $g \in G_l$, в качестве источника контента l -го типа в k -й паре отправитель-получатель

$$y_g^{kl} = \begin{cases} 0, & \text{если } g \neq s_k, \\ 1, & \text{если } g = s_k. \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку ни один из узлов транспортной телекоммуникационной сети не может выступать в качестве отправителя контента в рамках CDN, условие (2) предусматривает только два возможных значения для потока: 0 для промежуточных узлов и -1 для узла-получателя. Для отправителя контента $s_k \in G_l$ условие сохранения потока принимает вид

$$\sum_{j \in N} x_{gj}^{kl} = \begin{cases} 0, & \text{если } g \neq s_k; \\ 1, & \text{если } g = s_k; \end{cases} \quad g \in G_l. \quad (4)$$

Ограниченность сетевых и вычислительных ресурсов CDN в рамках введенных обозначений формализуется следующим образом

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} r^{kl} x_{ij}^{kl} \leq c_{ij}, \quad \sum_{k \in K} y_g^{kl} \leq S_g^l, \quad (5)$$

где r^{kl} – интенсивность трафика, порождаемого при передаче контента l -го типа между k -й парой сервер-пользователь; S_g^l – максимальное число сессий l -го типа, которое способен обслужить g -й сервер (производительность сервера).

Таким образом, в рамках модели (1) – (5) процесс маршрутизации запросов в CDN связан с поиском переменных y_g^{kl} , а наличие неизвестных переменных x_{ij}^{kl} позволяет решить эту задачу совместно с традиционной задачей многопутевой маршрутизации в транспортной телекоммуникационной сети. При этом в качестве целевой функции может выступать стоимостная функция

$$W = Q_x \bar{x} + Q_y \bar{y} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $\bar{x}$ – вектор, объединяющий в себе переменные x_{ij}^{kl} ; $\bar{y}$ – вектор, объединяющий переменные y_g^{kl} ; Q_x , Q_y – векторы весовых коэффициентов, определяющие стоимость использования сетевых и вычислительных ресурсов соответственно.

Как показано в литературе, наиболее распространенным критерием выбора сервера в рамках маршрутизации запросов является сбалансированное их использование, что объясняется стремлением уменьшить среднюю задержку доставки контента [4]. Такой подход требует представления ограничений (5) в следующем виде

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ij}^{kl} \leq \alpha \leq 1, \quad \frac{\sum_{k \in K} y_g^{kl}}{S_g^l} \leq \beta \leq 1, \quad (7)$$

где α , β – управляемый порог использования канальных и вычислительных ресурсов CDN, $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \beta \leq 1$.

Тогда в качестве целевой функции, обеспечивающей одновременно сбалансированное использование всех ресурсов (и сетевых (α), и вычислительных (β)), выступает

$$W = Q_\alpha \alpha + Q_\beta \beta \rightarrow \min, \quad (8)$$

где Q_α , Q_β – весовые коэффициенты.

В случае (8), как и в случае (6) задача маршрутизации запросов в CDN формализуется как оптимизационная задача смешанного линейного программирования, для решения которой известен ряд методов.

Таким образом, математическую модель (1) – (8) следует рассматривать как базовую модель, позволяющую формализовать задачу маршрутизации запросов в CDN как оптимизационную, при этом ее основным преимуществом является возможность совместного (а значит, в высокой степени согласованного) решения задачи маршрутизации запросов и многопутевой маршрутизации в транспортной телекоммуникационной сети.

Литература:

1. Content Delivery Networks / Buyya, Rajkumar; Pathan, Mukaddim; Vakali, Athena (Eds.). – Springer, 2008. – 418 p. – (Series: Lecture Notes in Electrical Engineering).
2. Bartolini N. A Walk through Content Delivery Networks / Novella Bartolini, Emiliano Casalicchio, Salvatore Tucci // Performance Tools and Applications to Networked Systems: Revised Tutorial Lectures; Edited by Maria Carla Calzarossa, Erol Gelenbe – Springer, 2004. – P. 1 – 25.
3. Kabir M. H. Request-routing Trends and Techniques in Content Distribution Networks / Md Humayun Kabir, Eric G Manning, Gholamali C Shoja, // International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT 2002): proc. of conference. – Dhaka, Bangladesh, 2002. – P. 315 – 320.
4. Лемешко А.В. Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Т.В. Вавенко // Проблемы телекомунікацій. – 2012. – № 1 (6). – С. 12 – 29. – Режим доступа к журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf.