

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ
В СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
МЕТОДОМ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

А. В. ПИСНОЙ

*(Научно-исследовательский институт Вооруженных Сил
Республики Беларусь, г. Минск)*

***Аннотация.** Представленное распределение цифровых потоков обеспечивает формирование рационального плана нагрузки в сети связи посредством назначения маршрутов между корреспондирующими парами узлов и учитывает виды передаваемого трафика на направлениях связи, их приоритет и взаимное влияние потоков при совместной передаче по сети.*

***Ключевые слова:** цифровой поток, план нагрузки, сеть связи специального назначения, трафик.*

Введение. Обеспечение своевременного и достоверного обмена информацией различного вида при выполнении заданных требований к качеству обслуживания – главное функциональное предназначение сетей связи. В настоящий момент сети связи становятся мультисервисными, в следствии чего возрастает количество предоставляемых услуг связи, в том числе и в сетях связи специального назначения. Это приводит к росту объемов всех видов передаваемого трафика (далее – трафика) [1] и возникновению перегрузок на сетях, что в свою очередь негативно влияет на своевременность доставки информации и функционирование сетей связи в целом.

Одним из направлений эффективного функционирования сети связи является организация управления распределением потоков нагрузки в сети. Оно обеспечивает оптимизацию маршрутов передачи и распределение нагрузки по ним с учетом заданных приоритетов. Одним из подходов, реализуемым в рамках управления распределения потоками нагрузки, является составление плана нагрузки. Под планом нагрузки понимается заданная совокупность маршрутов между корреспондирующей парой узлов (КПУ) и очередность их выбора. Как правило, план нагрузки строится оптимальным по одному из критериев: по числу транзитных узлов, по максимальной вероятности доведения информации, по минимальному времени доведения сообщения, по минимальной вероятности ошибки. Выбор критерия оптимальности обуславливается возможностью измерения соответствующего показателя и степенью влияния его на характеристики сети.

Наиболее распространённым способом составления плана нагрузки является метод последовательного заполнения, который имеет существенные недостатки: не всегда выделяется ресурс сети по пропускной способности на направлениям, которые имеют низкие приоритеты, а также, в следствии ограниченности временного ресурса на принятие решения, рассматривается небольшое количество вариантов распределения. Применительно к пакетным сетям связи, план нагрузки является исходными данными для заполнения таблиц статической маршрутизации.

На современном этапе заполнение таблиц маршрутизации выполняют специальные программно-аппаратные средства – маршрутизаторы. Принцип их работы базируется на использовании адаптивных (динамических) алгоритмов маршрутизации для сетей связи общего пользования. Однако, как было показано в [1], данные алгоритмы не учитывают особенностей сетей связи специального назначения, вследствие чего, они не согласовано используют общий ресурс сети по пропускной способности. Эту задачу можно решить с использованием методов математического программирования [2, 3]. Для реализации такого подхода необходимо разработать математическую модель.

Математическое моделирование цифровых потоков

Постановка задачи. Рассмотрим сеть связи, представленную в виде неориентированного графа $G = (V, E)$, где $V = \{v_n\}$ – множество, включающее N вершин графа (узлов связи); $E = \{e_i\}$ – множество, включающее M ребер (линий связи). Каждая линия связи имеет пропускную способность $b_i, i = \overline{1, M}$. Два узла, между которыми необходимо организовать передачу информации, называются корреспондирующей парой узлов (КПУ) и образуют направление связи. Пусть K число возможных направлений связи в рассматриваемой сети. Для каждого направления связи существует конечно число маршрутов передачи. Все маршруты для всех направлений связи образуют множество, включающее T маршрутов. Каждому направлению связи задан приоритет передачи. Цифровой поток – это совокупность циркулирующей информации между КПУ. В соответствии с рекомендацией Международного союза электросвязи в области телекоммуникаций ITU-T Y.1541 [4] они делятся по P видам трафика – выделенная совокупность циркулирующей информации по определенному признаку. Для каждого вида трафика заданы требования по передаче цифровых потоков $h_{kp}, k = \overline{1, K}, p = \overline{1, P}$. Каждый вид трафика передается по одному маршруту передачи между КПУ [5]. Допускается использование общего маршрута передачи для различных видов трафика для одного направления связи. Необходимо определить величины трафиков цифровых потоков, так чтобы были выполнены требования по передаче, а в случае невозможности полного удовлетворения – минимизировать их отклонения.

Формализация задачи. Обозначим:

– $x_{jp}, j = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}$ – переменная, обозначающая величину p -го вида трафика цифрового потока, передающегося по j -му маршруту;

– $a_{ij} = \{0, 1\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, T}$ – коэффициент, равный 1, если i -я линия входит в j -й маршрут, и 0 – в обратном случае;

– $\xi_{jk} = \{0, 1\}, j = \overline{1, T}, k = \overline{1, K}$ – коэффициент, равный 1, если j -й маршрут принадлежит k -му направлению связи, и 0 – в обратном случае;

– $w_k = \{1, 2, 3\}, k = \overline{1, K}$ – коэффициент, обозначающий приоритет для k -го направлений связи (1, 2 и 3 – соответствует высокой, средней и низкой степени приоритетов);

– $y_{jp} = \{0, 1\}, j = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}$ – коэффициент, равный 1, если p -й трафик информационного потока передается по j -му маршруту, и 0 – в обратном случае.

Ограничения задачи.

1. Сумма величин всех видов трафика, передающихся через i -ю линию связи, не должны превышать пропускную способность данной линии:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^T a_{ij} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp} \leq b_i, i = \overline{1, M}. \quad (1)$$

2. Величина p -го вида трафика, передаваемого по всем маршрутам для k -го направления связи, не должна превышать заданного требования по передаче:

$$\sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp} \leq h_{kp}, k = \overline{1, K}, p = \overline{1, P}. \quad (2)$$

3. Показателем величины трафика информационного потока является скорость передачи, измеряемая в битах за секунду (бит/с). Следовательно, минимальное значение – 1 бит/с, все другие значения кратны ему [5]. Поэтому

$$x_{jp} = \{0, 1, \dots\}, j = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}. \quad (3)$$

4. Величина p -го вида трафика для k -го направления связи передается только по одному маршруту передачи:

$$\sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} = 1, k = \overline{1, K}, p = \overline{1, P}. \quad (4)$$

Целевая функция задачи. Необходимо минимизировать отклонение искомым величин цифровых потоков от требований по их передаче.

$$f(x_{jp}) = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \frac{1}{w_k} \cdot (h_{kp} - \sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp}). \quad (5)$$

Математическая модель. Найти:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \frac{1}{w_k} \cdot (h_{kp} - \sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp}) \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^T a_{ij} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp} \leq b_i, i = \overline{1, M}, \\ \sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} \cdot x_{jp} \leq h_{kp}, k = \overline{1, K}, p = \overline{1, P}, \\ \sum_{j=1}^T \xi_{jk} \cdot y_{jp} = 1, k = \overline{1, K}, p = \overline{1, P}, \\ y_{jp} = \{0, 1\}, j = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}, \\ x_{jp} = \{0, 1, \dots\}, j = \overline{1, T}, p = \overline{1, P}. \end{array} \right. \quad (6)$$

В результате использования математической модели определяются величины трафиков цифровых потоков (x_{jp}) и рациональные маршруты их передачи (y_{jp}).

Заключение. Предложенная математическая модель реализована в среде *Matlab* и обеспечивает распределение заданных цифровых потоков в пакетной сети связи специального назначения с учетом особенностей ее функционирования, а также согласованное использование пропускной способности линий при одновременной передаче сообщений между корреспондирующими парами узлов. Это позволит повысить обоснованность принимаемых решений при планировании сетей связи и эффективность использования ее ресурсов при эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писной, А. В. Маршрутизация информационных потоков в пакетных сетях передачи данных военного назначения / А. В. Писной, М. Н. Байдаков, А. В. Обух // Наука и воен. безопасность. – 2021. – № 2. – С. 13–18.
2. Ху, Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях: учебник / Т. Ху. – М. : Мир, 1974. – 519 с.
3. Волков, И. К. Исследование операций: учебник для вузов / И. К. Волков, Е.А. Загоруйко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 436 с.
4. Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP: Рекомендация Y.1541 – Женева: Междунар. союз по электросвязи, 2007.– 12 с.
5. Олифер, В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Олифер, Н. Олифер. – Изд. 4-е. – М.: Питер, 2017. – 992 с.