

УДК 004.272.2(045)

Баранов В.Л. д-р техн. наук  
Мартынова О.П. канд. техн. наук

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ АДАПТИВНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Институт компьютерных технологий  
Национального авиационного университета

*Предложен метод адаптивной маршрутизации в компьютерных сетях, в основу которого положена многокритериальная оптимизация веса ветвей моделирующего графа по нелинейной схеме компромиссов*

### **Постановка проблемы**

Непосредственный рост сложности компьютерных сетей и увеличение объемов передачи информации ставят задачу разработки адаптивной маршрутизации с целью снижения перегрузки сети и повышения эффективности ее работы.

В настоящее время стали выдвигаться дополнительные требования к качеству обслуживания в компьютерной сети, которые должны выполняться при передаче потоков информации от источника к адресату.

В связи с этим возникает задача разработки метода маршрутизации в компьютерной сети, который позволяет адаптироваться к изменениям нагрузки в сети и одновременно обеспечить необходимый уровень качества обслуживания.

**Анализ последних исследований и публикаций** [1-4] позволяет сделать вывод о том, что гарантированное качество обслуживания может быть достигнуто методом применения составной метрики маршрутизации, которая учитывает основные требования к качеству обслуживания в сети. В этом случае в процессе маршрутизации учитываются такие параметры как пропускная способность, задержка передачи данных, надежность передачи информации, относительная нагрузка узла сети и ряд других параметров. Пути передачи данных определяются на основе линейной свертки частных критериев качества с фиксированными весовыми коэффициентами либо на основе составной метрики маршрутизации с соответствующими весовыми коэффициентами [2-3]. В обоих случаях возникает про-

блема выбора весовых коэффициентов, от которых непосредственно зависит качество функционирования компьютерной сети. В настоящее время проблема выбора весовых коэффициентов не имеет удовлетворительного решения в реальном времени, когда топология и параметры компьютерной сети претерпевают существенные изменения в процессе ее функционирования. Примером таких сетей являются мобильные компьютерные сети [3].

**Цель работы** – разработка многокритериальной адаптивной маршрутизации в компьютерных сетях, которая позволяет удовлетворить требованиям к качеству обслуживания и адаптировать маршрутизацию к перегрузке в сети.

Поставленная задача решается следующим образом. Составляется математическая модель компьютерной сети. Затем ставится задача многокритериальной маршрутизации в математической модели сети. Задача маршрутизации решается методом многокритериальной оптимизации, который учитывает ограничения на частные критерии качества и обладает адаптивными свойствами к изменению топологии и параметров сети.

Математическая модель компьютерной сети представляется в виде графа, вершины которого моделируют узлы-источники и узлы-приемники информации, а ветви графа соответствуют возможным каналам передачи данных. Ветвям графа присваивают вес, который учитывает заданные требования качества обслуживания на основе нелинейной схемы компромиссов [5]. Поскольку качество

обслуживания в сети задается в виде набора требований, которые должны выполняться сетью в процессе передачи данных от источника к адресату, введем для каждого требования свой частный критерий качества  $I_i$  передачи информации вдоль ветви графа. Например, скорость передачи данных зададим частным критерием качества  $I_1^*$ , время задержки передачи данных учтем частным критерием качества  $I_2^*$ , надежность передачи информации оценим частным критерием качества  $I_3^*$  и т.д.

С целью повышения качества обслуживания в сети одни частные критерии качества необходимо минимизировать, а другие – максимизировать. Поэтому приведем все частные критерии к случаю их минимизации. Для этого необходимо максимизируемый критерий качества, например,  $I_3^*$  заменить частным критерием качества  $I_3 = I_{3\max} - I_3^*$ , где  $I_3^*$  – частный критерий качества, характеризующий надежность передачи данных,  $I_{3\max}$  – максимально-допустимое значение надежности, которая задается техническими характеристиками канала передачи данных.

После приведения максимизируемых частных критериев качества к минимизируемым считаем, что качество обслуживания оценивается  $n$  минимизируемыми частными критериями качества  $I_1, I_2, \dots, I_n$ . Полагаем, что из технических характеристик каналов передачи данных и требований к качеству обслуживания заданы предельно-допустимые значения частных критериев качества  $I_{1m}, I_{2m}, \dots, I_{nm}$ . В этом случае диапазон изменения частных критериев качества задается ограничениями:

$$0 \leq I_i \leq I_{im}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Следует отметить, что предельно-допустимые значения частных критериев  $I_{im}, i = \overline{1, n}$  учитывают заданные требования к качеству обслуживания в сети.

Поставим задачу векторной оптимизации веса ветви графа. Эта задача является некорректной, так как частные критерии качества конфликтуют между собой и улучшение одного частного критерия качества неизбежно ухудшает один или несколько других частных критериев качества. С целью регуляризации некорректной задачи векторной оптимизации применим скалярную свертку по нелинейной схеме компромиссов [5]:

$$J = \sum_{i=1}^n \frac{1}{I_i - I_{im}}, \quad (2)$$

где  $I_i$  –  $i$ -й частный критерий качества,  $I_{im}$  – предельно-допустимое значение частного критерия качества  $I_i$ .

Если ветвям графа присвоить вес пропорциональный скалярной величине  $J$ , рассчитанной согласно выражению (2), то такая математическая модель компьютерной сети с одной стороны учитывает требования на качество обслуживания сети согласно ограничениям (1), а с другой стороны позволяет оптимизировать маршруты передачи данных в сети по минимизации критерия качества:

$$\min_j L = \sum_{j=1}^r J_j, \quad (3)$$

где  $J_j$  – вес  $j$ -ой ветви графа,

$r$  – количество ветвей графа вдоль маршрута от источника к адресату.

Таким образом, поставленная задача свелась к решению задачи о кратчайшем пути между источником и адресатом, которая решается любыми известными методами маршрутизации, например, алгоритмом Дейкстры [1] либо параллельными средствами маршрутизации [4].

Рассмотрим различные ситуации, которые могут возникнуть в процессе функционирования компьютерной сети.

Выберем наиболее характерные ситуации. В случае отсутствия перегрузки в компьютерной сети все частные критерии качества  $I_i, i = \overline{1, n}$  во всех ветвях моделирующего графа находятся в пределах

заданных ограничений (1). Тогда решение задачи маршрутизации по критерию качества (3) путем решения задачи о кратчайшем пути между источником и адресатом дает маршруты, которые обеспечивают заданные требования к качеству обслуживания (1) сети, а также обеспечивает наименее возможные частные критерия качества (2) соответствующие оптимальности по Парето [5].

Теперь рассмотрим случай перегрузки в компьютерной сети. В этом случае текущая скорость  $I_1$  передачи пакетов данных будет приближаться к предельно-допустимым значениям пропускной способности  $I_{1m}$  ветвей моделирующего графа. Как следует из выражения (2) в этом случае вес ветви графа по критерию качества  $I_1$  резко возрастает, что приводит практически к оптимизации маршрутов по Чебышевскому принципу минимакса [5], когда из всех частных критериев качества минимизируется наихудший частный критерий  $I_1$ , дающий наибольшее значение  $\frac{I_1}{I_{1m}}$  в выражении (2).

Таким образом, многокритериальная маршрутизация согласно (1) – (3) обеспечивает адаптацию компьютерной сети к режиму перегрузки. Адаптация обеспечивается изменением маршрутов передачи данных в сети таким образом, что в оптимальных по критерию качества (3) маршрутах ветви, в которых имеет место перегрузка, исключаются из направлений передачи данных. Действительно, минимальное значение величины  $L$  (3) пропорциональное длине маршрута может быть достигнуто при минимально-возможных значениях  $J_i$  вдоль маршрута. А в случае перегрузки направления передачи данных, которое моделируется ветвью (2), ее вес стремится к бесконечности при стремлении критерия качества  $I_1$  к значению  $I_{1m}$ . Поэтому в процессе решения задачи о кратчайшем пути по критерию (3) такие ветви из оптимальных маршрутов будут исключаться.

Если режим работы компьютерной сети изменится так, что во всех ветвях

моделируемого графа перегрузка не будет иметь место, то тогда маршрутизация вернется к первой ситуации, которая ранее была описана. В этом случае ветви графа, в которых ранее была перегрузка, вновь включаются в решение задачи маршрутизации наравне с другими ветвями моделирующего графа.

Таким образом, предложенная маршрутизация на основе выражений (1) – (3) позволяет удовлетворить требования к качеству обслуживания и адаптировать маршрутизацию к перегрузке в сети.

Следует отметить, что многокритериальная маршрутизация позволяет адаптироваться к нагрузке в компьютерной сети до определенного уровня нагрузки, когда частные критерии качества находятся в пределах ограничений (1). Если один из частных критериев качества  $I_i$  начинает приближаться к своему максимально-допустимому значению  $I_{im}$ , то в этой ситуации необходимо либо увеличить значение  $I_{im}$  либо перейти на многопутевую маршрутизацию [1,4]. В первом случае допустимая нагрузка в компьютерной сети может быть увеличена за счет снижения качества обслуживания. Во втором случае допустимая нагрузка в компьютерной сети увеличивается благодаря построению нескольких альтернативных маршрутов. Практика применения многопутевой маршрутизации показала, что даже в случае поиска двух-трех альтернативных маршрутов допустимая нагрузка в компьютерной сети увеличивается более чем в два раза [1].

Поэтому многопутевая маршрутизация является более эффективным средством увеличения допустимой нагрузки в компьютерной сети, так как она не приводит к снижению качества обслуживания в сети. Обычно, многопутевая маршрутизация реализуется последовательным построением однопутевых маршрутов, что приводит к увеличению времени поиска маршрутов в  $K$  раз, где  $K$  – количество альтернативных маршрутов [1,4]. Следовательно, такой способ увеличения допустимой нагрузки в компьютерной сети может использоваться только при

передачи данных, для которых увеличение времени задержки в передаче данных не является критичным для адресата поступления этих данных.

Однако, в случае передачи мультимедийного трафика в компьютерной сети выдвигаются определенные требования к синхронности и времени передачи данных, так как эти параметры отражаются на качестве воспроизводимого непрерывного сигнала. С другой стороны, для мультимедийного трафика характерна низкая чувствительность к потере данных. Это связано с тем, что из-за инерционности физических процессов потерю отдельных замеров голоса или кадров изображения можно компенсировать сглаживанием на основе предыдущих и последующих значений. Поэтому в случае передачи мультимедийного трафика можно допустить некоторое снижение качества обслуживания в сети путем увеличения максимально-допустимых значений  $I_{im}$  по частным критериям качества  $I_i$ , которые не оценивают время задержки передачи данных.

Сравним предложенный метод многокритериальной адаптивной маршрутизации в компьютерных сетях с известными методами, в которых маршруты передачи данных определяются на основе линейной свертки частных критериев качества с фиксированными весовыми коэффициентами либо на основе составной метрики маршрутизации с соответствующими весовыми коэффициентами [2-3]. Как видно из выражений (1) – (3) в предложенном методе маршрутизации отсутствуют весовые коэффициенты, и поэтому нет проблемы выбора весовых коэффициентов. Кроме этого известные методы не учитывают в процессе маршрутизации ограничения (1) на частные критерии качества, что может привести к нарушению качества обслуживания либо требует дополнительных средств и ресурсов компьютерной сети для выполнения заданных требований. В предложенном методе ограничения (1) выполняются за счет реализации в нелинейной схеме компромиссов (2) принципа выбора оптимального решения подалеже от ограничений [5].

Достоинством предложенного метода многокритериальной адаптивной маршрутизации является также то, что метод сводит задачу маршрутизации к задаче о кратчайшем пути на графе, для решения которой имеется широкая база алгоритмических, программных и аппаратных средств решения [1-4].

### Выводы

Предложен метод адаптивной маршрутизации в компьютерных сетях, в основу которого положена многокритериальная оптимизация веса ветвей моделирующего графа по нелинейной схеме компромиссов. Метод позволяет учесть требования к качеству обслуживания, не требует выбора весовых коэффициентов и позволяет адаптировать маршрутизацию к перегрузке в сети.

### Список литературы

1. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
2. Жуков И.А., Клименко И.А. Обеспечение заданного уровня качества обслуживания в объединенных сетях // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2005. – Вип. 13. – С. 5 – 14.
3. Клименко И.А., Аленина Н.А., Мухамед Ель Амин Бабикер Маршрутизация с заданными параметрами QOS в мобильных сетях с технологией MPLS // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 2(17). – С. 81 – 84.
4. Баранов В.Л., Мартынова О.П., Алексеева Л.А. Адаптивная маршрутизация на параллельных вычислительных структурах // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 1(19). – С. 15 – 19.
5. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем. – К.: Наук. думка, 1992. – 160 с.