

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ ПРИ САМОПОДОБНОМ ВХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ И ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ.

Введение

В Украине наблюдается бурное развитие телекоммуникационной отрасли. Увеличивается количество и разнообразие предоставляемых услуг, что приводит к увеличению объемов и видов информации, которые надо передавать по сети. Для удовлетворения этих требований необходимо переходить к сетям нового поколения, мультисервисным сетям, способным передавать информацию любого типа (речь, видео, данные и т. п.). В то же время наблюдается отставание методов проектирования подобных сетей от развития телекоммуникационных технологий. Одной из задач, решаемых при проектировании мультисервисной сети, является выбор параметров ее структурных элементов. Особенно важно при выборе параметров получить структуру сети минимальной стоимости, удовлетворяющую заданным параметрам качества предоставляемых услуг. К основным параметрам сети, влияющим на ее стоимость, относятся пропускные способности каналов связи и размер буфера коммутационного оборудования, приходящийся на каждый канал связи. Данные параметры влияют на такие качественные характеристики мультисервисной сети как: среднее время задержки пакетов в сети и вероятность потери пакета в сети.

При проектировании мультисервисных сетей в качестве математической модели входящих потоков целесообразно использовать математическую модель самоподобных процессов, так как они позволяют учитывать большее количество параметров и свойств информационных потоков и считаются более адекватными, чем пуассоновские модели.

Цель данной работы – разработка и исследование методов параметрического синтеза мультисервисной сети при самоподобном входящем потоке согласно критерию минимума стоимости сети при ограничении на допустимые значения среднего времени задержки пакетов в сети и вероятности потери пакетов в сети.

Постановка задачи

Пусть имеется множество $A = \{a_i\}$ абонентов сети – источников информационной нагрузки различного класса.

Зададим множество $D = \{\bar{d}_j\}$ информационных потоков, поступающих в сеть для передачи между конечными узлами, где $\bar{d}_j = (\lambda_j, \bar{n}_j, H_j)$ – вектор параметров информационных потоков поступающих в сеть в узле a_i и передаваемых в узел a_i , где λ_j – интенсивность поступления сообщений в сеть, пакетов в сек.; \bar{n}_j – средняя длина сообщения, бит; H_j – параметр Херста.

Определим матрицу $B = \|b_{km}\|$, описывающую топологию сети, где

$$b_{km} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_k \text{ смежна к } a_m; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Введем величину w_{km} , которая определяет затраты, необходимые для организации канала связи между узлами a_k и a_m . Величина w_{km} зависит от пропускной способности канала связи и от размера буфера коммутационного оборудования, входящего в состав данного канала связи, т.е.

$$w_{km} = w(c_{km}, x_{km}), \quad (2)$$

где c_{km} – пропускная способность канала связи между данными узлами; x_{km} – размера буфера коммутационного оборудования, входящего в состав канала связи между данными узлами.

Необходимо разработать метод параметрического синтеза мультисервисной сети при самоподобном входящем потоке согласно критерию минимума стоимости сети. Стоимость проектируемой мультисервисной сети зависит от пропускной способности каналов связи и от размеров буферов коммутационного оборудования, входящего в состав каналов связи сети. Так как данные параметры влияют на качественные характеристики сети, среднесетевую задержка пакетов в сети T_{cp} и вероятность потери пакетов в сети P_{ij} , зададим ограничения на допустимые значения среднесетевой задержки пакетов в сети $T_{cp, \text{огр}}$ и на вероятность потери пакетов в сети $P_{n, \text{max}}$.

Построим математическую модель задачи параметрического синтеза мультисервисной сети согласно критерию: минимум стоимости. Введем следующее обозначение: P_{km} – вероятность потери пакетов в канале (k,m) ; f_{km} – суммарный поток, передаваемый по каналу связи (k,m) .

Математическая модель имеет вид

$$\min \left(\sum_k \sum_m w(c_{km}, x_{km}) \cdot b_{km} \right); \quad (3)$$

$$T_{cp}(D, B) \leq T_{cp, \text{огр}}; \quad (4)$$

$$P_{ij} = 1 - \prod_{(k,m) \in M_{ij}} (1 - P_{km}) \leq P_{n, \text{max}}, \forall i, j, a_i, a_j \in A, \quad (5)$$

$$f_{km} \leq c_{km}, \forall a_k, a_m \in A, b_{km} \neq 0, \quad (6)$$

где M_{ij} – маршрут от узла a_i к узлу a_j ; N – количество узлов в сети.

Распределение потоков по каналам связи и определение их характеристик

Для минимизации стоимости мультисервисной сети нам необходимо предварительно решить задачу распределения потоков по каналам связи и определения их параметров. Классически задача распределения потока решается в следующей постановке: при известной топологии и пропускных способностях каналов связи необходимо определить маршруты передачи информационных потоков и величины самих потоков так чтобы обеспечить передачу всего объема требований на передачу для всех пар отправитель-адресат с максимальным качеством обслуживания. В нашем случае при решении задачи распределения потоков пропускные способности каналов связи неизвестны, поэтому данная задача относится к задачам распределения потоков и выбора пропускных способностей каналов. Таким образом, задача распределения потоков в данном случае разделяется на следующие подзадачи: выбор маршрутов передачи информации в сети; распределение потоков передаваемых между всеми парами отправитель-адресат по известным маршрутам и определение характеристик передаваемых информационных потоков в каналах связи.

В статье [1] был предложен алгоритм, который позволяет определить маршруты передачи информации в сети, распределить потоки, передаваемые между всеми парами отправитель-адресат и определить характеристики передаваемых информационных потоков в каналах связи. Данный алгоритм был реализован в пакете прикладных программ MATLAB и в результате его работы были сформирована матрицы маршрутов M и определены потоки в каналах для найденного множества минимальных путей.

Методы параметрического синтеза мультисервисной сети минимальной стоимости

Для решения математической модели построенной в постановке задачи необходимо получить выражения для качественных характеристик мультисервисной сети, среднесетевой задержка пакетов в сети T_{cp} и вероятности потери пакетов в канале связи P_{ij} , учитывающий самоподобный характер передаваемых потоков.

В статье [1] получено выражение для среднесетевой задержки пакетов в сети, которая учитывает самоподобный характер передаваемых потоков:

$$T_{cp} = \frac{1}{D_{\Sigma}} \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N \left[f_{km} \cdot \left(\frac{1}{c_{km}} + \frac{f_{km}}{c_{km}} \cdot \frac{(f_{km} \cdot c_{km})^{\frac{2H'_{km}-1}{2(1-H'_{km})}}}{(c_{km} - f_{km})^{\frac{H'_{km}}{1-H'_{km}}}} \right) \right], \quad (7)$$

где c_{km} – пропускная способность канала связи (k, m) ; f_{km} – суммарный поток, передаваемый по каналу связи (k, m) ; D_{Σ} – полный трафик в сети:

$$f_{km} = \lambda_{km}^f \cdot \bar{n}_{km}^f, \quad (8)$$

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_{ij}. \quad (9)$$

В статье [2] была получена зависимость вероятности потери пакета в канале связи с самоподобным входящим потоком:

$$P_{km} = \exp \left(- \frac{\left(\frac{c_{km} - \lambda_{km}}{\bar{n}_{km}} \right)^{2H_{km}}}{2k(H_{km})^2 a_{km} \lambda_{km}} x_{km}^{2-2H_{km}} \right), \quad (10)$$

где λ_{km} – средняя интенсивность поступления запросов в канал связи (k, m) ; x_{km} – размер буфера коммутационного оборудования, входящего в состав канала связи (k, m) ; H_{km} – параметра Херста информационного потока, передаваемого по каналу связи (k, m) . a_{km} – коэффициент разногласий в канале связи (k, m) ; $k(H) = H^H (1-H)^{1-H}$.

С учетом всех ограничений, математическая модель, приведенная в постановке задачи, выглядит следующим образом:

$$\min \left(\sum_k^N \sum_m^N w(c_{km}, x_{km}) \cdot b_{km} \right); \quad (11)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{D_{\Sigma}} \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N \left[f_{km} \cdot \left(\frac{1}{c_{km}} + \frac{f_{km}}{c_{km}} \cdot \frac{(f_{km} \cdot c_{km})^{\frac{2H'_{km}-1}{2(1-H'_{km})}}}{(c_{km} - f_{km})^{\frac{H'_{km}}{1-H'_{km}}}} \right) \right] \leq T_{cp, \text{зад}}; \quad (12)$$

$$P_{km} = \exp \left(- \frac{\left(\frac{c_{km} - \lambda_{km}}{\bar{n}_{km}} \right)^{2H_{km}}}{2k(H_{km})^2 a_{km} \lambda_{km}} x_{km}^{2-2H_{km}} \right); \quad (13)$$

$$P_b = 1 - \prod_{(k,m) \in M_q} (1 - P_{km}) \leq P_{b, \text{max}}, \forall i, j, a_i, a_j \in A; \quad (14)$$

$$f_{km} \leq c_{km}, \forall a_k, a_m \in A, b_{km} \neq 0. \quad (15)$$

Данная задача относится к задачам оптимизации с нелинейными ограничениями. Так как решение данной задачи лежит на границе допустимых значений, ограничения можно записать в виде равенств. Для решения данной задачи необходимо перейти от задачи с ограничениями к задаче без ограничений. Осуществим данный переход при помощи метода штрафных функций. Так как ограничения представлены в виде равенств будем их учитывать с помощью квадратичного штрафа. Приведем метод штрафных функций в общем виде

$$\Omega = R \cdot (h(x))^2, \quad (16)$$

$$P(x, R) = W(x) + R \cdot (h(x))^2, \quad (17)$$

где Ω – штрафная функция, в которую включаются ограничения-равенства, R – набор штрафных параметров, $h(x)$ – ограничения-равенства, $W(x)$ – целевая функция, $P(x, R)$ – новая целевая функция. Приведем полученную новую целевую функцию

$$W(c, x, R_T, R_P) = \sum_k \sum_m w(c_{km}, x_{km}) \cdot b_{km} + R_T \cdot (T_{cp}(c) - T_{cp,опт})^2 + R_P \cdot (1 - \prod_{(k,m) \in M_B} (1 - P_{km}(c_{km}, x_{km})) - P_{опт})^2, \quad (18)$$

Для нахождения минимума функции $W(c, x, R_T, R_P)$ необходимо воспользоваться методом наискорейшего спуска. При решении данной задачи требуется выбрать начальное значение R и изменять его после решения каждой подзадачи безусловной оптимизации с тем, чтобы обеспечить сходимость.

Данный алгоритм был реализован в пакете прикладных программ Matlab. При использовании данного алгоритма необходимо производить дополнительные вычисления для расчета штрафных параметров R_T, R_P , что сильно усложняет алгоритм. При неправильном подборе штрафных коэффициентов алгоритм не сходится.

Исходя из этого для минимизации стоимости проектируемой мультисервисной сети целесообразнее использовать алгоритм пошаговой оптимизации. Вначале производится оптимизация сети по пропускной способности каналов связи, затем по размерам буферов коммутационного оборудования.

Приведем целевые функции данного алгоритма

$$W(c, R_T) = \sum_k \sum_m w(c_{km}) \cdot b_{km} + R_T \cdot (T_p(c) - T_{cp,опт})^2 \quad (19)$$

$$W(x, R_P) = \sum_k \sum_m w(x_{km}) \cdot b_{km} + R_P \cdot (1 - \prod_{(k,m) \in M_B} (1 - P_{km}(c_{km}, x_{km})) - P_{опт})^2 \quad (20)$$

Для нахождения минимума функций $W(c, R_T)$ и $W(x, R_P)$ необходимо воспользоваться методом наискорейшего спуска. На рис. 1 приведен алгоритм метода параметрического синтеза мультисервисной сети минимальной стоимости при самоподобном входящем потоке и заданными параметрами качества обслуживания.

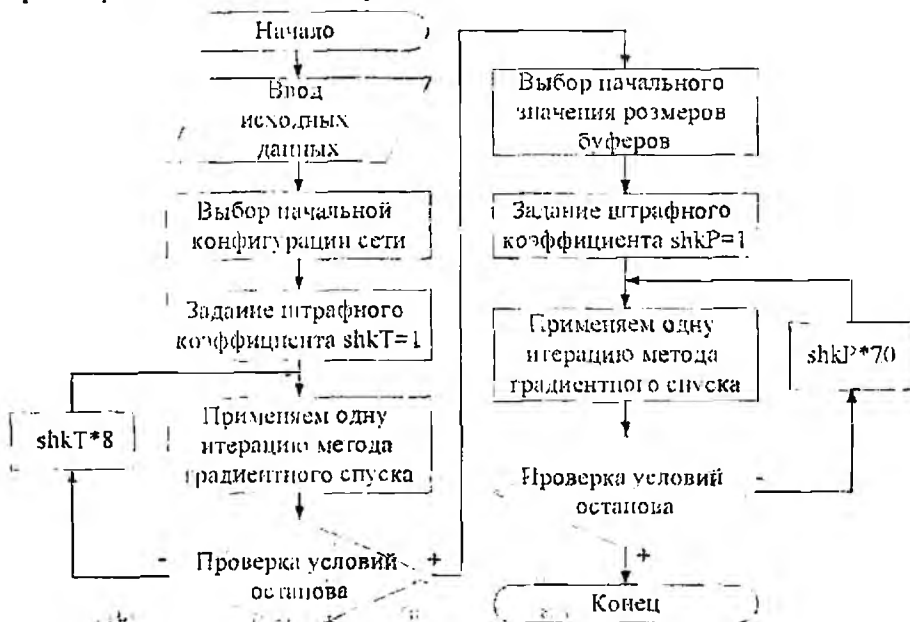


Рис. 1

Данный алгоритм был реализован в пакете прикладных программ Matlab. В результате работы данного алгоритма был произведен параметрический синтез мультисервисной сети минимальной стоимости с соблюдением заданных параметров качества обслуживания. На рис. 2, 3 представлены результаты работы алгоритма параметрического синтеза. На рис. 2, а изображена зависимость задержек пакетов в каждом канале связи и среднесетевая задержка по сети в целом при оптимизации сети по пропускной способности каналов связи (первый шаг). На рис. 2, б изображена зависимость вероятности потери пакетов в каждом канале связи и вероятность потери пакетов по сети в целом при оптимизации сети по размерам буферов коммутационного оборудования (второй шаг).

На рис. 3 изображена зависимость изменения стоимости проектируемой мультисервисной сети от номера итерации работы алгоритма. Стоимость проектируемой сети увеличивается, так как изначально были выбраны параметры, не удовлетворяющие ограничениям на качество обслуживания.

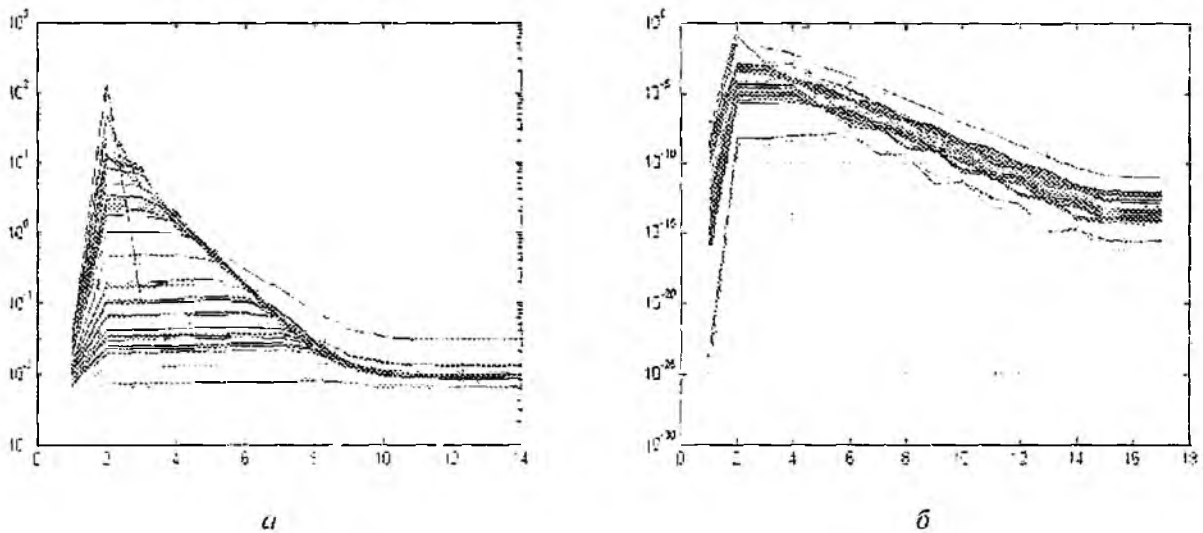


Рис. 2

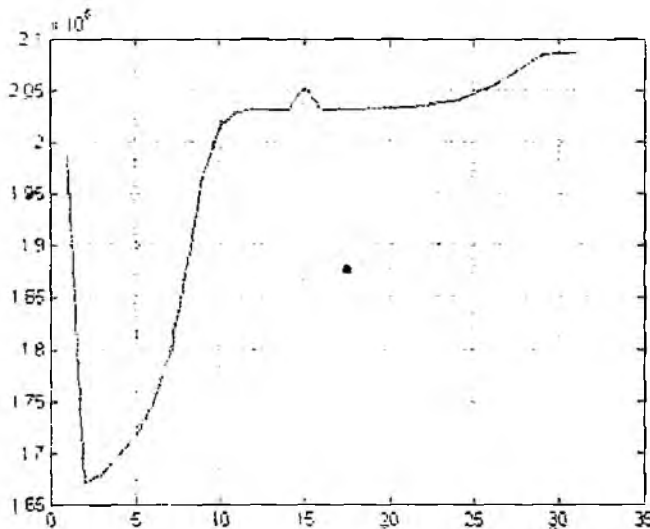


Рис. 3

С использованием программно-реализованного метода были рассчитаны параметры сети для нескольких вариантов ее реализации. Данная задача была решена и с применением классических моделей, основанных на предположении о пуассоновском характере передаваемых потоков. Сопоставление результатов показало их совпадение при $H = 0.5$ (что соответствует пуассоновскому потоку).

Заключение

Разработан и исследован метод параметрического синтеза мультисервисной сети при самоподобном входящем потоке согласно критерию минимума стоимости сети при ограничении на допустимые значения среднего времени задержки пакетов в сети и вероятности потери пакетов в сети. Доказана работоспособность этого метода. При исследовании предложенного алгоритма минимизации стоимости сети одновременно по пропускной способности и размерам буфера была выявлена недостаточная его устойчивость. Алгоритм последовательной оптимизации показал более высокую устойчивость работы и сходится примерно за 10^1 итераций. Сопоставление полученных результатов для случая пуассоновского потока показало его сходимость с ранее известными методами.

Список литературы: 1. Агеев Д. В., Чернятьев А. В., Самир Махмуд. Выбор пропускных способностей каналов связи при самоподобной характере передаваемых потоков // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 148. С. 87-95. 2. Агеев Д. В., Евлахи Д. В., Самир Махмуд. Параметрический синтез телекоммуникационных систем при самоподобном входящем потоке // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2007. Вып. 151. С.124-128.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 12.10.2008