

УДК 621.3

А.А. Смирнов, В.В. Босько

Кировоградский технический национальный университет, Кировоград

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО МНОЖЕСТВА ПУТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Определены этапы решения задачи определения оптимального множества путей передачи информации в телекоммуникационной сети (ТКС). Исследованы зависимости вероятности ошибочного приема информационного пакета и вероятности необнаружения ошибок в информационном пакете от количества маршрутов передачи информации, а также среднего времени доставки информационного пакета от количества маршрутов передачи информации при различных значениях вероятности искажения одного бита информации в канале связи. Разработаны процедуры нахождения базового множества путей передачи информации и оптимизации множества маршрутов ТКС.

Ключевые слова: оптимизация, множество маршрутов, телекоммуникационная сеть, передача данных.

Постановка проблемы

Развитие телекоммуникационных сетей, появление множества альтернативных путей передачи информации приводит зачастую к необходимости оптимизации существующих сетевых ресурсов, при этом обеспечение качества обслуживания абонентов остается первостепенной задачей поставщиков телекоммуникационных услуг.

Анализ работ ряда авторов [2 – 5] показал, что решение задачи определения оптимального множества путей передачи информации целесообразно разбить на два этапа: нахождение базового множества $\mathcal{N}_{\text{баз}}$ путей передачи информации; оптимизация сформированной иерархической структуры множества маршрутов и определение оптимального множества $\mathcal{N}_{\text{вб}}$ путей передачи информации.

Нахождение базового множества путей передачи информации

При решении задачи определения оптимального множества $\mathcal{N}_{\text{вб}}$ путей передачи информации в ТКС для УС i и j из множества \mathcal{N} в первую очередь необходимо найти базовое множество $\mathcal{N}_{\text{баз}}$ путей передачи информации [2].

Структурная схема процедуры нахождения базового множества путей передачи информации представлена на рис. 1.

В каждом узле связи i , инициализирующем выполнение разрабатываемой процедуры нахождения базового множества путей передачи информации, имеется следующая информация: основная таблица топологии $D^{(i)}$, содержащая информацию о связях с узлами ξ , доступными узлу i ; таблица топологии «соседей» $D_k^{(i)}$, в которой содержится ин-

формация о состоянии связи («расстоянии» $t_{i,k}$) с соседним узлом k ; таблицы расстояний $\tilde{T}^{(i)}$ и $\tilde{T}_k^{(i)}$,

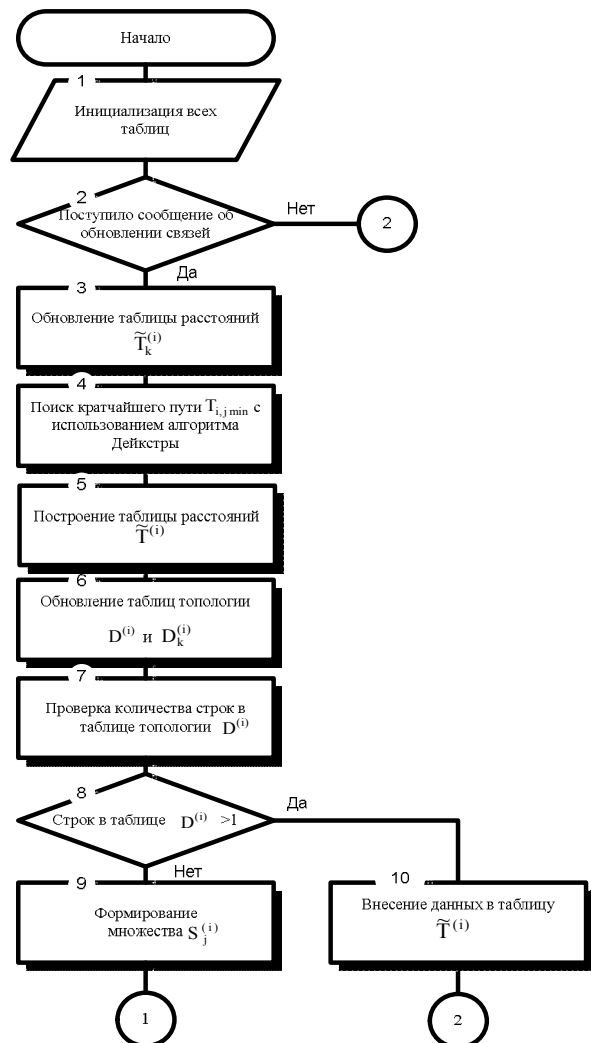


Рис. 1. Структурная схема процедуры нахождения базового множества путей передачи информации (начало)

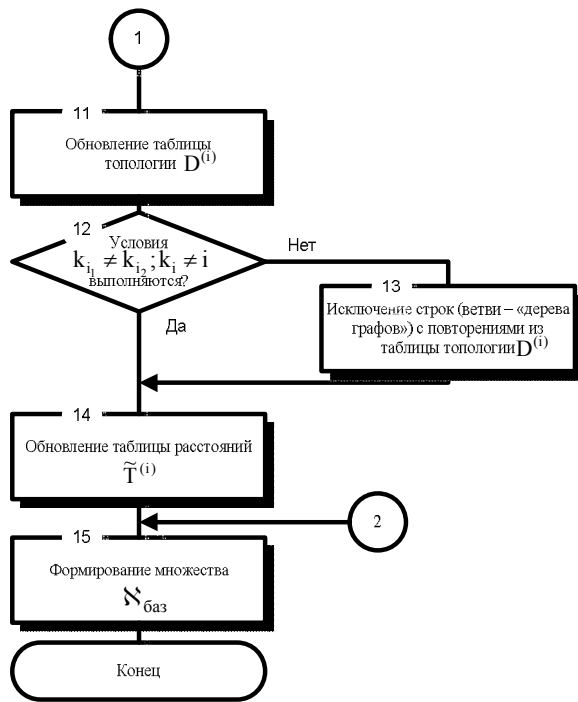


Рис. 1. Структурная схема процедуры нахождения базового множества путей передачи информации (окончание)

содержащие информацию о «расстояниях» $T_{i,k,j}$ и $t_{i,k}$ от узла i к адресатам j и соседним с ним узлам k на основе таблиц топологии $D^{(i)}$ и $D_k^{(i)}$ соответственно; таблица маршрутизации, содержащая информацию о множестве $S_j^{(i)}$ «узлов-преемников» k , текущем $T_{i,k,j}$ и кратчайшем $T_{i,jmin}$ «расстояниях» до каждого адресата j .

Как показали исследования, в основе разрабатываемой процедуры нахождения базового множества путей передачи информации целесообразно использовать алгоритм Дейкстры [3], который позволяет определить кратчайшее «расстояние» (минимальное время передачи информационных пакетов) $T_{i,jmin}$ от любого источника i к адресатам j .

Поэтому на первом этапе процедуры нахождения базового множества $N_{баз}$ путей передачи информации после инициализации всех таблиц, хранящихся в УС, проверки служебной информации о состоянии связей и обновления таблиц расстояний $\tilde{T}_k^{(i)}$ (шаги 1 – 3 процедуры нахождения базового множества путей передачи информации) осуществляется поиск кратчайших путей передачи информации с помощью алгоритма Дейкстры (шаг 4).

На следующем этапе разрабатываемой процедуры на основе информации, полученной ранее ($T_{i,jmin}$), осуществляется построение таблицы рас-

стояний $\tilde{T}^{(i)}$ и обновление таблиц топологии $D^{(i)}$ и $D_k^{(i)}$ (шаги 5, 6). В процессе обновления таблицы $D^{(i)}$ в нее частично переносятся данные о топологии, доступные узлам k из таблиц $D^{(k)}$, в соответствии с записями таблицы $D_k^{(i)}$.

Далее для определения возможности реализации многопутевой маршрутизации осуществляется проверка обновленной таблицы топологии $D^{(i)}$ (шаг 7). Если такие возможности существуют (строк в $D^{(i)} > 1$) для нахождения множества путей передачи информации и учета при этом иерархичности построения ТКС (определения «расстояния» от «узла-источника» i до «узла-адресата» j в соответствии с существующими уровнями иерархии) определяется множество $S_j^{(i)}$ узлов k , ближайших к УС i и лежащих по направлению движения потока к j (множество «узлов-преемников») в порядке уровней иерархии дерева допустимых маршрутов множества U (шаг 9). В противном случае после внесения изменений в таблицу $\tilde{T}^{(i)}$ и окончательного формирования множества $N_{баз}$ (шаги 10 и 15 соответственно) процедура нахождения базового множества путей передачи информации завершает выполнение.

При построении конечного «дерева-графа» множества маршрутов передачи информации от «узла-источника» i до «узла-адресата» j в результате выполнения указанных операций возникает проблема образования «петель» на маршрутах. Это приводит к увеличению времени передачи информационных пакетов, а зачастую и их потере. Избежать «зацикливания» информации на маршруте можно, осуществляя проверку повторений узлов k (IP – адресов) для каждого уровня иерархии из множества U (шаг 12). В случае таких повторений этот маршрут необходимо удалить из сформированного «дерева-графа» множества маршрутов (шаг 13).

Таким образом, процесс определения базового множества $N_{баз}$ путей передачи информации можно представить в виде выражений:

$$T_{i,jmin} = \min_{k \in \mathcal{R}} \{ T_{k,j} + t_{i,k} \}; \quad (1)$$

$$S_j^{(i)} = \{ k | k \in \mathcal{R} \}, \quad (2)$$

$$N_{баз} = \left\{ (i, k_1, \dots, k_\ell, j) \mid \begin{array}{l} k_i \neq k_{i_2}; k_i \neq i, \\ \forall k_1, k_{i_2} \in \{k_1, \dots, k_\ell\} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $t_{i,k}$ – «расстояние» от узла i к узлу k ;

$T_{k,j}$ – «расстояние» от узла k к адресату j ;

\mathcal{R} – множество узлов связи в ТКС.

Оптимизация множества маршрутов в телекоммуникационной сети

Проведенные исследования [1 – 4] показали, что непосредственное использование всего найденного множества $\aleph_{\text{баз}}$ путей передачи информации не всегда оправдано. Это становится особенно очевидно в случае высокой пропускной способности хотя бы нескольких из имеющихся каналов связи, способных обеспечить выполнение требования оперативности. Расширение такого множества приводит к увеличению таблиц маршрутизации узлов связи, усложнению процесса распределения информации, снижению достоверности передачи информации и, как следствие, необходимости повторной передачи одних и тех же данных. Такая процедура повторной передачи, предусмотренная протоколами транспортного уровня (ТСР) [4], приводит к увеличению среднего времени доставки данных. Поэтому возникает необходимость в нахождении такого множества маршрутов, использование которого в условиях накладываемых ограничений позволит уменьшить среднее время доставки информационных пакетов, т.е. в выборе из всего найденного множества $\aleph_{\text{баз}}$ путей некоторой (оптимальной) совокупности $\aleph_{\text{вб}}$ маршрутов.

Исследуем процедуру обмена данными с квити́рованием в рамках одного звена передачи данных (одного уровня иерархии) без учета дополнительных потоков информации в узлах связи, при вероятности $q_{\text{кв}}$ ошибочного приема квитанции равной вероятности q_0 ошибочного приема информационного пакета ($q_{\text{кв}} = q_0$). Из работ [2 – 5] известно, что среднее время доставки информационных пакетов в системах с квити́рованием определяется с помощью выражения:

$$T_{\text{ТСкв}} = \left[\frac{1}{((1 - q_0) + p_{\text{но}}) \cdot (1 - q_0)} \cdot (1 + \eta) - \eta \right] \cdot \tilde{T}_{\text{ТС}}, \quad (4)$$

где $q_0 = \left(1 - q_s^{(c)}\right)^{\frac{M p_{\text{ср}} \ell_p}{\lambda}}$ – вероятность ошибочного приема информационного пакета;

$$p_{\text{но}} = \left[1 - \left(1 - q_s^{(c)}\right)^{\frac{M p_{\text{ср}} \ell_p}{\lambda}} \right] \cdot 2^{-R} \quad \text{– вероятность}$$

необнаружения ошибок в информационном пакете;

$\tilde{T}_{\text{ТС}}$ – среднее время доставки информационного пакета (без учета времени распространения сигнала);

η – коэффициент пропорциональности длительности $T_{\text{та}}$ тайм-аута $T_{\text{та}} = \eta \cdot \tilde{T}_{\text{ТС}}$, $\eta \geq 1$;

ℓ_p – длина исходного пакета содержащего I – информационных, B – служебных и R – проверочных разрядов: $\ell_p = I + B + R$, $I \geq 1$, $B \geq 1$, $R \geq 0$;
 $p_{\text{ср}}$ – средняя пропускная способность каналов связи.

Оценим влияние количества маршрутов, используемых для передачи информации, на вероятность ошибочного приема информационного пакета.

Кривые зависимости вероятности q_0 ошибочного приема информационного пакета и вероятности $p_{\text{но}}$ необнаружения ошибок в информационном пакете с параметром семейства ℓ_p от количества M маршрутов передачи информации при фиксированных значениях интенсивности $\lambda = 300$ Кбит/с суммарного входного потока информации, средней пропускной способности $\rho = 160$ Кбит/с каналов связи, коэффициента $\eta = 2$ пропорциональности длительности тайм-аута, числа $R = 8$ проверочных разрядов информационного пакета, вероятности $q_s^{(c)} = 10^{-5}$ искажения одного бита информации в канале связи между узлами i и j представлены на рис. 2. и рис.3. соответственно.

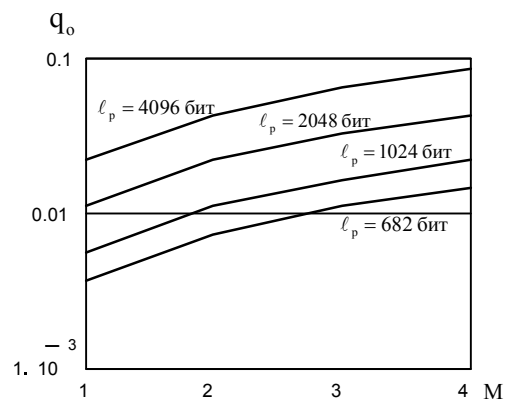


Рис. 2. Зависимость вероятности q_0 ошибочного приема информационного пакета от количества M маршрутов передачи информации

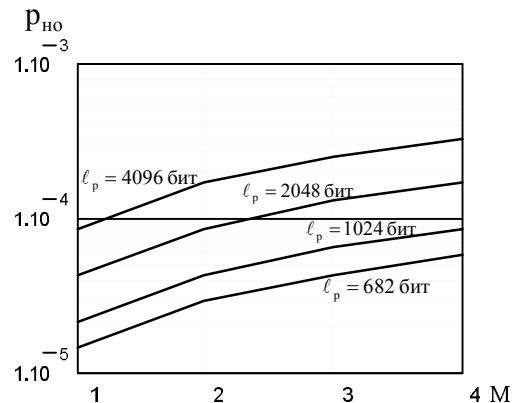


Рис. 3. Зависимость вероятности $p_{\text{но}}$ необнаружения ошибок в информационном пакете от количества M маршрутов передачи информации

Рис. 2 и 3 иллюстрируют существенный рост вероятности q_0 ошибочного приема информационного пакета (до 3 раз) и вероятности $p_{но}$ необнаружения ошибок в информационном пакете (до 4 раз) при увеличении числа маршрутов, используемых при передаче информации с 1 до 4. Аналогично из представленных рисунков виден рост вероятностей q_0 и $p_{но}$ при увеличении длины ℓ_p информационного пакета в 6 раз.

Воспользовавшись выражением (4), найдем среднее время $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов в ТКС, использующей процедуры квитирования (протокол TCP).

Без учета времени $T_{распс}$ распространения информационного пакета в каналах связи для всех возможных маршрутов передачи информационного потока среднее время $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов равно:

$$T_{тскв} = \left(\frac{1}{((1 - q_0) + p_{но}) \cdot (1 - q_0)} \cdot (1 + \eta) - \eta \right) \times \left[\begin{aligned} & \left(t_{кс}^{(c)} + \frac{t_0}{\left(\sum_{i=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MTi}^i}{i!} \right) N_k} \sum_{N_{MT1}=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MT}^{N_{MT1}} N_{MT1}}{N_{MT1}!} (N_k + N_{MT1}^2) + \right. \\ & \left. \frac{\varphi_{s(c)} \lambda_{сум} t_0^2}{2 \left(\sum_{i=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MTi}^i}{i!} \right) N_k} \sum_{N_{MT1}=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MT}^{N_{MT1}} N_{MT1}}{N_{MT1}!} \left(1 + \frac{N_{MT1}^2 (N_{MT1} + 2)}{N_k} \right) \right) \cdot \Psi_s \\ & + \frac{\varphi_{s(c)} \lambda_{сум} t_0^2}{2 \left(\sum_{i=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MTi}^i}{i!} \right) N_k} \sum_{N_{MT1}=0}^{N_{MTmax}} \frac{\varphi_{s(c)MT}^{N_{MT1}} N_{MT1}}{N_{MT1}!} (N_k + N_{MT1}^2) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

Исследуем влияние отдельных характеристик ТКС и информационного потока данных (количества M маршрутов передачи информации, длины ℓ_p информационного пакета, вероятности $q_s^{(c)}$ искажения одного бита информации в канале связи между узлами i и j) на среднее время $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов.

На рис. 4 приведены кривые зависимости среднего времени $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов с параметром семейства ℓ_p от количества M маршрутов передачи информации при различных значениях вероятности искажения одного бита информации в канале связи

$$(q_s^{(c)} = 10^{-3} \text{ – рис. 4, а, } q_s^{(c)} = 10^{-4} \text{ – рис. 4, б,}$$

$$q_s^{(c)} = 10^{-5} \text{ – рис. 4, в, } q_s^{(c)} = 10^{-6} \text{ – рис. 4, г)}$$

при фиксированных значениях интенсивности $\lambda = 300$ Кбит/с суммарного входного потока информации, средней пропускной способности $\rho = 160$ Кбит/с каналов связи, коэффициента $\eta = 2$ пропорциональности длительности тайм-аута, числа $R = 8$ проверочных разрядов информационного пакета, максимального числа окон мультимедийного трафика на кадр, $N_{MTmax} = 25$, числа окон в кадре, $N_k = 30$, длительности единичного окна,

$t_0 = 9$ мс и времени коммутации информационных пакетов в УС ($t_{кс}^{(c)} = 0,025$ с – рис. 4, а, $t_{кс}^{(c)} = 0,1$ с – рис. 4, б, в, г).

Рис. 4 иллюстрирует существенное (до 3 раз при $q_s^{(c)} \leq 10^{-5}$ и до 2,4 раза при $q_s^{(c)} = 10^{-4}$) уменьшение среднего времени $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов с увеличением количества M маршрутов с 1 до 2.

Однако при $q_s^{(c)} > 10^{-4}$ увеличение M маршрутов передачи информации с 1 до 2 лишь в отдельных случаях ($\ell_p \leq 1024$ бит) приводит к уменьшению среднего времени доставки информационных пакетов. Как показывают исследования, увеличение количества используемых для передачи информации маршрутов с 2 до 3 в большинстве практических случаев ($q_s^{(c)} \leq 10^{-5}$) также приводит к уменьшению (до 1,3 раза) среднего времени $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов. Однако ухудшение вероятностно-временных характеристик каналов связи ($q_s^{(c)} \geq 10^{-4}$) и увеличение длины информационного пакета ($\ell_p \geq 2048$ бит) может привести к увеличению среднего времени $T_{тскв}$ доставки информационных пакетов.

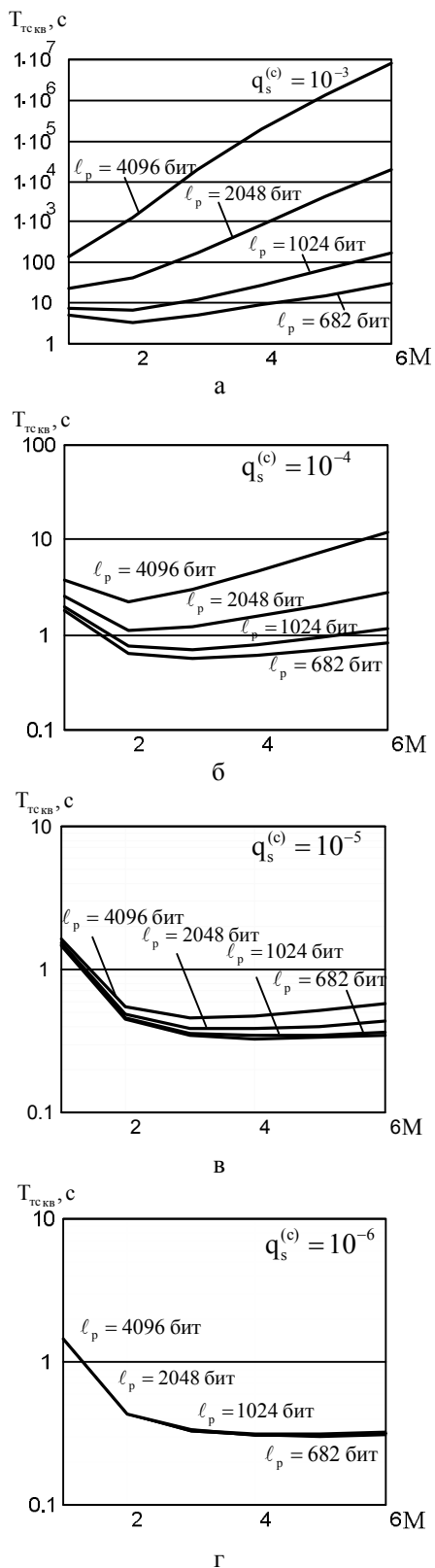


Рис. 4. Зависимости среднего времени $T_{ТСКВ}$ доставки информационных пакетов от количества M маршрутов передачи информации при различных значениях вероятности $q_s^{(c)}$ искажения одного бита информации в канале связи

Дальнейшее увеличение количества M маршрутов передачи информации в большинстве прак-

тических случаев ($l_p \geq 1024$ бит) приводит либо к незначительному (до 1,1 раза) уменьшению среднего времени $T_{ТСКВ}$ доставки информационных пакетов (при $q_s^{(c)} \leq 10^{-6}$), либо к его увеличению.

Следует отметить, что чем больше вероятность $q_s^{(c)}$ искажения одного бита информации в канале связи и длина l_p информационного пакета, тем существеннее рост среднего времени $T_{ТСКВ}$ доставки информационных пакетов.

Так, при $q_s^{(c)} = 10^{-5}$ и $l_p = 1024$ бит увеличение количества маршрутов передачи информации с 3 до 6 приводит к незначительному увеличению $T_{ТСКВ}$ до 1,05 раза, однако увеличение длины l_p информационного пакета до 4096 бит при аналогичной вероятности $q_s^{(c)} = 10^{-5}$ искажения одного бита информации в канале связи приводит к увеличению $T_{ТСКВ}$ до 1,3 раза.

Уменьшение вероятности $q_s^{(c)}$ искажения одного бита информации в канале связи до 10^{-4} при аналогичных условиях (увеличение количества маршрутов передачи информации с 3 до 6) приводит к существенному (до 4 раз при $l_p = 4096$ бит и до 1,7 раза при $l_p = 1024$ бит) увеличению среднего времени $T_{ТСКВ}$ доставки информационных пакетов.

Как показали исследования [2 – 4], в большинстве практических случаев в ТКС используются каналы передачи данных с вероятностью искажения одного бита информации $q_s^{(c)} \geq 10^{-4}$. Поэтому при передаче информации в ТКС целесообразно использовать 2 – 3 маршрута из найденного множества $\aleph_{баз}$ маршрутов. Это дает возможность повышения оперативности передачи информации и уменьшает вероятности q_0 ошибочного приема информационного пакета и вероятности $p_{ню}$ необнаружения ошибок в информационном пакете.

Таким образом, анализ зависимостей (рис. 2–4) и исследования процесса передачи информации показали необходимость оптимизации множества маршрутов передачи информации для уменьшения среднего времени $T_{ТСКВ}$ доставки информационных пакетов и повышения оперативности передачи данных. Предлагаемая процедура оптимизации множества маршрутов в ТКС, структурная схема которой приведена на рис. 5, включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Постановка задачи оптимизации множества маршрутов в ТКС.

На этом этапе (блок 1) осуществляется выбор показателя качества оптимизации множества мар-

шрутов для передачи информации в ТКС, критерия оптимальности и обоснование накладываемых ограничений вероятностно-временных характеристик в зависимости от назначения такого множества и решаемых задач.

Этап 2. Нахождение оптимального множества маршрутов для передачи информации в ТКС.

На этом этапе реализуется та или иная процедура нахождения оптимального множества маршрутов, содержание которой полностью соответствует оптимизационной задаче, сформулированной на этапе 1.

После проверки и исключения маршрутов, не удовлетворяющих требованию достоверности (блок 2), осуществляется мониторинг входного трафика (блок 3). На этом этапе выполнения процедуры характерной особенностью разработки является использование двух «наилучших» маршрутов для первоначального распределения и передачи информационных пакетов. Как показали исследования [5], это позволит снизить время нахождения оптимального множества маршрутов и, тем самым, повысить оперативность передачи данных.

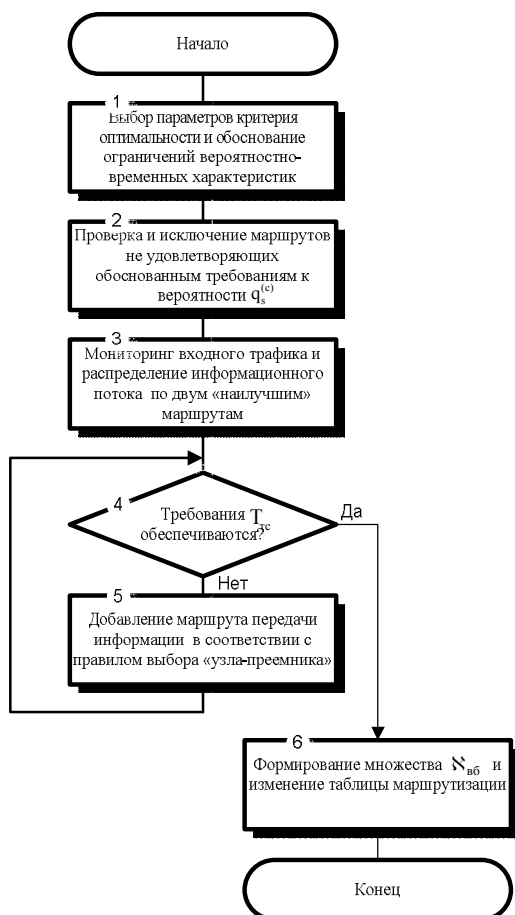


Рис. 5. Структурная схема процедуры оптимизации множества маршрутов в ТКС

В случае невыполнения требования оперативности (проверка в блоке 4) при использовании двух маршрутов передачи информации в условиях топо-

логии ТКС, характеризующейся малой связностью (коэффициент связности $k_{св} \leq 4$, $M \leq 5$), целесообразно осуществлять итерационное (пошаговое) добавление маршрутов передачи информации в соответствии с правилом выбора «узла-преемника» ξ :

$$\tilde{S}_j^{(i)} = S_j^{(i)} \cup \left\{ \xi \mid \min_{\xi \in S_j^{(i)}} (T_{\xi,j} + t_{i,\xi}) ; \xi \in \mathfrak{R} \right\}. \quad (6)$$

Выводы

Таким образом, метод определения оптимального множества путей передачи информации в телекоммуникационной сети состоит из: процедуры нахождения базового множества путей передачи информации, отличающейся от известных включением операции проверки повторений узлов k (IP – адресов) для каждого уровня иерархии из множества U уровней иерархии на дереве допустимых маршрутов, что позволит избежать образования «петель» на маршрутах; процедуры оптимизации множества маршрутов ТКС, отличающейся от известных включением операции мониторинга входного трафика и распределения информационного потока по двум «наилучшим» маршрутам, что позволит сократить время поиска оптимального множества путей передачи информации в ТКС в условиях, когда вероятность искажения одного бита информации $q_s^{(c)} \leq 10^{-4}$.

Список литературы

1. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: Принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский. – М.: ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: пер с англ.; под ред. В.И. Неймана / Л. Клейнрок. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашинев. – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
4. Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 5 (45), – С. 74-84.
5. Кучук Г.А. Моделювання трафіка мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.Г. Кірілов, А.А. Пашинев // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 9 (58). – С. 50-59.
6. Кучук Г.А. Моделювання трафіка ізолированого пульсуючого джерела / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 1. – С. 168-173.
7. Семенов С.Г. Разработка распределенного метода многопутевой маршрутизации, основанного на потоковой модели с превысчислением путей (маршрутов) / С.Г. Семенов, А.Г. Беленков, А.А. Можяев // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ППМЕ ім. Г.Є.Пухова, 2005. – Вип. 32. – С. 189-192.

Поступила в редакцию 17.08.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.А. Кузнецов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МНОЖИНИ ШЛЯХІВ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ

О.А. Смирнов, В.В. Босько

Визначені етапи рішення задачі визначення оптимальної множини шляхів передачі інформації в телекомунікаційній мережі (ТКМ). Досліджені залежності вірогідності помилкового прийому інформаційного пакету і ймовірності невиявлення помилок в інформаційному пакеті від кількості маршрутів передачі інформації, а також середнього часу доставки інформаційних пакетів від кількості маршрутів передачі інформації при різних значеннях ймовірності спотворення одного біта інформації в каналі зв'язку. Розроблені процедури знаходження базової безлічі шляхів передачі інформації і оптимізації безлічі маршрутів ТКМС.

Ключові слова: оптимізація, множина маршрутів, телекомунікаційна мережа, передача даних.

DEVELOPMENT OF METHOD OF DETERMINATION OF OPTIMUM GREAT NUMBER OF WAYS OF PASSING TO INFORMATION IS IN TELECOMMUNICATION NETWORK

A.A. Smirnov, V.V. Bos'ko

The stages of decision of task of determination of optimum great number of ways of passing to information are certain in a telecommunication network. Dependences of probability of erroneous reception of informative package and probability of undetection of errors are explored in an informative package from the amount of routes of passing to information, and also mean time of delivery of informative packages from the amount of routes of passing to information at the different values of probability of distortion of one bit of information in a communication channel. Procedures of finding of base great number of ways of passing to information and optimization of great number of routes of telecommunication network are developed.

Keywords: optimization, great number of routes, telecommunication network, communication of data.