

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ СРЕДНЕЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТА ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

к.т.н. М.И. Гиневский, к.т.н. Г.А. Кучук, к.т.н. А.А. Пашнев,
(представил проф. А.В. Королёв)

Исследуется влияние различных параметров на изменение величины задержки пакета данных на маршруте. Определяется показатель эффективности маршрутизации информационных потоков в информационно-телекоммуникационной сети Вооруженных Сил Украины.

Постановка проблемы. В комплексной программе организации исследований по основным направлениям информационного обеспечения Вооруженных Сил Украины, разработанной в соответствии с Решением совета по вопросам создания системы информационного обеспечения Вооруженных Сил Украины, которое утверждено начальником Генерального штаба Вооруженных Сил Украины 7 ноября 1998 года, определена одна из важнейших задач, которые должна решать современная система информационного обеспечения Вооруженных Сил Украины, заключающаяся в организации и обеспечении бесперебойного обмена информацией в реальном масштабе времени в открытом и закрытом режимах. Поскольку технически все субъекты системы базируются на информационно-телекоммуникационной сети (ИТС) Вооруженных Сил Украины, которая строится по территориально-иерархическому принципу, время обмена информацией в ИТС определяется величиной задержки пакета данных в ней. Для минимизации величины задержки пакета данных необходимо осуществить оценку параметров, влияющих на ее изменение с целью определения показателя эффективности маршрутизации информационных потоков, позволяющего минимизировать среднюю задержку пакета данных в ИТС.

Анализ литературы, посвященной последним исследованиям, касающимся маршрутизации информационных потоков в информационно-телекоммуникационных сетях [1 – 10] показал, что современные методы маршрутизации обеспечивают минимизацию задержки пакета данных в ИТС за счет влияния на такие параметры как загрузка отдельных каналов

связи и длина маршрутов передачи данных. Однако необходимость постоянного изменения вышеуказанных параметров приводит к чрезмерному усложнению технической реализации процесса маршрутизации информационных потоков в информационно-телекоммуникационных сетях и влечет за собой значительное увеличение служебных потоков данных, вызванных высокой частотой опроса состояния загрузки используемых каналов связи. В связи с этим возникает необходимость исследовать влияние различных параметров на изменение величины задержки пакета данных на маршруте и определить показатель эффективности маршрутизации информационных потоков в ИТС, позволяющий минимизировать среднюю задержку пакета данных в ней.

Целью статьи является определение показателя эффективности маршрутизации информационных потоков в ИТС, на основе исследования влияния различных параметров на изменение величины задержки пакета данных на маршруте, позволяющего минимизировать среднюю задержку пакета данных в ИТС.

Средняя задержка пакета данных в ИТС определяется как [11]:

$$T_p = \frac{1}{c_u} \cdot \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} \left(c_{ma}^j \cdot h_{wa}^j \cdot \left(t_y + k_z \cdot \frac{l_p}{p_z} + \frac{l_o}{p_z} \cdot l_p \right) \right), \quad (1)$$

где c_u – суммарная интенсивность распределенных потоков данных в ИТС; h_r – число информационных потоков между множеством узлов ИТС; h_m – число маршрутов для передачи j -го потока в распределении γ ; c_{ma}^j – интенсивность j -го потока по маршруту m_a^j ; h_{wa}^j – длина маршрута m_a^j , определяемая числом каналов передачи данных (ПД), входящих в маршрут; t_y – среднее время коммутации пакета в узле; k_z – средний коэффициент загрузки каналов ПД; l_o – средняя длина очереди к каналу ПД; l_p – средний объем пакета (в битах) передаваемых в ИТС данных; p_z – средняя пропускная способность канала ПД с учетом его загрузки.

Из анализа выражения (1) следует, что средняя задержка пакета данных в ИТС является линейной функцией от длины маршрутов передачи данных, определяемой числом каналов ПД, входящих в маршрут. Суммарная интенсивность распределенных потоков данных в ИТС определяется выражением [12]:

$$c_u = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} c_{ma}^j.$$

На основе выражений (1) – (4), представленных в [11], рассчитаем

величину задержки пакета данных на маршруте

$$T_m = \sum_{b=1}^{h_{wa}^j} t_{yb} + k_{z_b} \cdot \frac{l_p}{p_{z_b}} + \frac{l_{ob}}{p_{z_b}} \cdot l_p. \quad (2)$$

Пропускная способность канала ПД p_{z_b} с учетом его загрузки определяется как значение интенсивности потока данных, который может быть пропущен по каналу ПД при заданном коэффициенте загрузки k_{z_b} [13], т.е. $p_{z_b} = k_{z_b} \cdot p_{wb}$, где p_{wb} – пропускная способность канала ПД.

Из анализа выражения (2) видно, что величина задержки пакета данных на маршруте зависит от следующих параметров:

- числа каналов ПД, входящих в маршрут;
- времени коммутации пакета данных в центре коммутации (ЦК);
- пропускной способности каналов ПД;
- объема пакета данных, передаваемого по маршруту;
- длины очереди пакетов данных к каналам ПД;
- коэффициента загрузки каналов ПД.

Используя выражение (2) определим зависимость задержки пакета данных на маршруте от вышеперечисленных параметров.

Зависимость задержки пакета данных на маршруте от значений времени коммутации пакета данных в ЦК и пропускной способности каналов ПД представлена на рис. 1, из которого видно, что увеличение значения пропускной способности каналов ПД в 6 раз обеспечивает уменьшение задержки пакета данных на маршруте от 2.2 до 5.9 раз в зависимости от величины времени коммутации пакета данных в ЦК. Из рис. 1 также следует, что уменьшение времени коммутации пакета данных в ЦК в 100 раз приводит к незначительному снижению задержки пакета данных на маршруте от 1.5 до 3.9 раз для соответствующих значений пропускной способности каналов ПД равных 9600 и 57600 бит/с.

Рассмотрим зависимость задержки пакета данных на маршруте от объема пакета, передаваемого по нему при различных значениях времени коммуникации пакета данных в ЦК и пропускной способности каналов ПД. Зависимость задержки пакета данных на маршруте от объема пакета данных для различных значений времени коммуникации пакета в ЦК представлена на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что наименьшее значение задержки пакета данных на маршруте при уменьшении времени коммутации пакета данных в ЦК достигается для пакетов, имеющих малый объем. Так уменьшение значения времени коммутации пакета в ЦК в 100 раз позволяет умень-

шить задержку пакета данных на маршруте в 2 раза при объеме передаваемого пакета данных, равном 12288 бит, и в 6.8 раза при объеме передаваемого пакета данных, равном 2048 бит. Уменьшение объема пакета данных в 6 раз обеспечивает уменьшение задержки пакета на маршруте от 1.7 до 5.7 раз для соответствующих значений времени коммутации пакета данных в ЦК, равных 0.1 и 0.01 с.

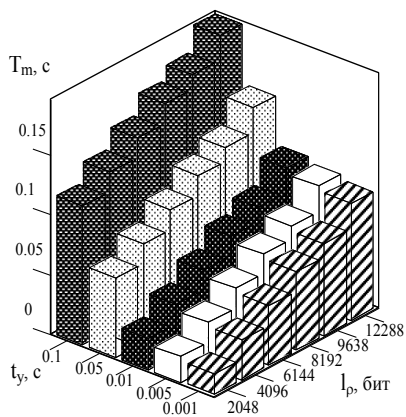
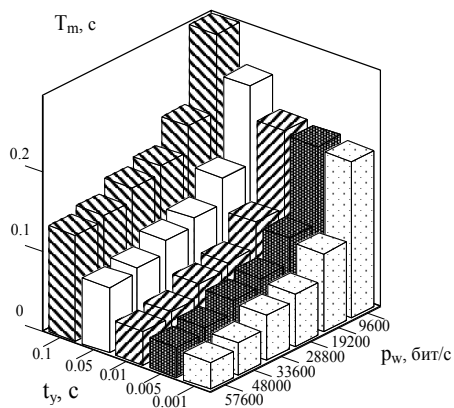


Рис. 1. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значений времени коммутации пакета данных в ЦК t_y и пропускной способности каналов ПД P_w

Рис. 2. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значений времени коммутации пакета данных в ЦК t_y и объема передаваемого пакета l_0

На рис. 3 представлена зависимость задержки пакета данных на маршруте от величины объема пакета данных, передаваемого по нему для различных значений пропускной способности каналов ПД. Из рис. 3 следует, что увеличение объема пакета данных, передаваемого по маршруту, в 4.7 раза приводит к увеличению задержки пакета на маршруте от 2.6 до 4 раз для значений пропускной способности каналов ПД, равных 57600 и 9600 бит/с. Увеличение пропускной способности каналов ПД в 6 раз позволяет уменьшить задержку пакета данных на маршруте от 3.2 до 5 раз в зависимости от объема пакета данных, передаваемого по нему, причем при больших значениях объема пакета достигается наибольшее уменьшение задержки пакета данных на маршруте за счет увеличения пропускной способности каналов ПД.

При условии, что на входе в канал ПД имеет место пуассоновский поток требований (пакетов), а их обслуживание осуществляется в порядке поступления с временем обслуживания, равным постоянной величине,

выражение для определения длины очереди пакетов данных к каналу ПД в соответствии с формулой Поллачека – Хинчина имеет вид [14]:

$$l_{об} = k_{zb}^2 / (2 - 2 \cdot k_{zb}). \quad (3)$$

Коэффициент загрузки канала ПД определяется выражением [15]:

$$k_{zb} = \frac{c_{wb}}{p_{wb}}, \quad (4)$$

где c_{wb} – суммарная интенсивность переданных потоков данных по b -му каналу ПД.

Выражение для определения суммарной интенсивности переданных потоков данных по каналу ПД имеет вид [13]:

$$c_{wb} = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} c_{ma}^j \cdot k_a^j, \quad (5)$$

где $k_a^j = \begin{cases} 0, & \text{если } w_b \notin m_a^j; \\ 1, & \text{если } w_b \in m_a^j; \end{cases}$

w_b – b -й канал ПД.

Из анализа выражений (3) – (5) следует, что длина очереди пакетов данных к каналу ПД и его коэффициент загрузки зависят от значений интенсивности потоков данных, передаваемых по маршрутам, проходящим через рассматриваемый канал передачи данных и его пропускной способности.

Определим влияние коэффициента загрузки каналов ПД на изменение задержки пакета данных на маршруте в зависимости от рассмотренных параметров.

На рис. 4 приведена зависимость задержки пакета данных на маршруте от времени коммутации пакета в ЦК для различных значений коэффициента загрузки каналов ПД. Из рис. 4 видно, что уменьшение времени коммутации пакета в ЦК в 100 раз позволяет уменьшить задержку пакета данных на маршруте в 1.3 раз для значения коэффициента загрузки каналов ПД, равного 0.9, и в 13.2 раз для значения коэффициента загрузки каналов ПД, равного 0.1. Из рис. 4 также следует, что увеличение коэффициента загрузки каналов ПД в 9 раз приводит к увеличению за-

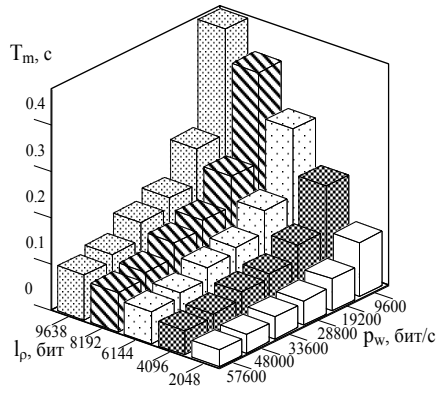


Рис. 3. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значенный объема пакета данных I_p и пропускной способности каналов ПД p_w

держки пакета данных на маршруте от 3.9 до 39.8 раз для значений времени коммутации пакета в ЦК, равных 0.1 и 0.001 с.

Зависимость задержки пакета данных на маршруте от величины пропускной способности каналов ПД при различных значениях их коэффициента загрузки приведена на рис. 5.

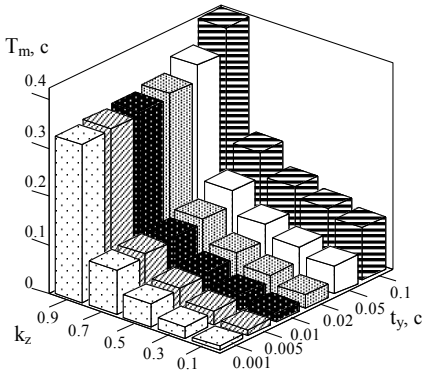


Рис. 4. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значений времени коммутации пакета в ЦК t_y и коэффициента загрузки каналов ПД k_z

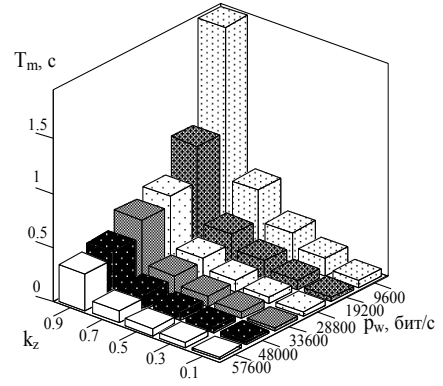


Рис. 5. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значений пропускной способности каналов ПД P_w и их коэффициента загрузки k_z

Из рис. 5 следует, что увеличение коэффициента загрузки каналов ПД в 9 раз приводит к увеличению задержки пакета данных на маршруте от 12.6 до 31.1 раза для соответствующих значений пропускной способности каналов ПД, равных 57600 и 9600 бит/с. Увеличение пропускной способности каналов ПД в 6 раз позволяет уменьшить задержку пакета данных на маршруте в 2.3 раза для значения коэффициента загрузки каналов ПД, равного 0.1, и в 5.7 раз для значения коэффициента загрузки каналов ПД, равного 0.9.

Зависимость задержки пакета данных на маршруте от объема передаваемого пакета данных для различных значений коэффициента загрузки каналов ПД приведена на рис. 6. Из рис. 6 видно, что увеличение объема пакета данных, передаваемого по маршруту, в 6 раз приводит к увеличению задержки пакета на маршруте от 1.8 до 5.4 раз для значений коэффициента загрузки каналов ПД, равных 0.1 и 0.9. Из рис. 6 также следует, что увеличение коэффициента загрузки каналов ПД в 9 раз влечет за собой увеличение задержки пакета данных на маршруте в 7.7 раз при значении объема пакета данных, передаваемого по маршруту, рав-

ном 2048 бит, и в 23.9 раза при значении объема пакета данных, передаваемого по маршруту, равном 12288 бит.

Это позволяет сделать вывод, что коэффициент загрузки канала ПД является определяющим параметром, влияющим на значение задержки пакета данных на маршруте.

Поскольку коэффициент загрузки канала ПД при заданном значении его пропускной способности определяется величиной суммарной интенсивности потоков данных, передаваемых по маршрутам, проходящим через этот канал передачи данных и, исходя из анализа выражений (1), (2), можно сделать вывод:

– основными параметрами, влияющими на изменение величины средней задержки пакета данных в ИТС, являются:

- интенсивность потоков данных, передаваемых по маршрутам;
- длина маршрутов передачи данных, определяемая числом каналов ПД, входящих в маршрут;
- время коммутации пакета данных в ЦК;
- пропускная способность каналов ПД;
- объем пакета данных, передаваемого по маршруту;

– с помощью маршрутизации информационных потоков возможно влияние на изменение таких параметров как длина маршрутов и интенсивность потоков данных, передаваемых по ним, являющимися определяющими при расчете средней задержки пакета данных в ИТС.

Исходя из анализа выражения (1), из которого следует, что определяющими параметрами, влияющими на величину средней задержки пакета данных в ИТС, являются длина маршрутов и интенсивность потоков данных, передаваемых по ним, в качестве показателя эффективности маршрутизации информационных потоков в ИТС выберем целевую функцию, определяемую выражением

$$F = \frac{1}{c_u} \cdot \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} c_{ma}^j \cdot l_{ma}^j \quad (6)$$

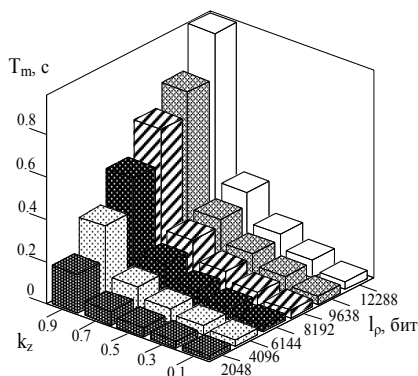


Рис. 6. Зависимость задержки пакета данных на маршруте T_m от значений объема пакета I_p и коэффициента загрузки каналов ПД k_z

Величина l_{ma}^j определяется выражением [12] $l_{ma}^j = \sum_{b=1}^{h_{wa}^j} l_{wb}$, где l_{wb} –

длина канала передачи данных w_b , входящего в состав маршрута m_a^j .

Из выражения (6) следует, что выбранный показатель эффективности маршрутизации информационных потоков в ИТС определяется суммарным произведением значений длин маршрутов и интенсивностей потоков данных, распределяемых по ним с учетом величины суммарной интенсивности передаваемых потоков в ИТС.

Это позволяет сделать вывод о возможности минимизации средней задержки пакета данных в ИТС за счет нахождения минимального значения выбранной целевой функции в процессе маршрутизации информационных потоков, учитывающей при определении маршрутов и распределении потоков данных вышеперечисленные параметры.

Выводы. Ниже перечислены основные научные и практические результаты данного исследования.

1. Основными параметрами, влияющими на изменение средней задержки пакета данных в ИТС, являются: интенсивность потоков данных, передаваемых по маршрутам; длина маршрутов передачи данных, определяемая числом каналов ПД, входящих в маршрут; время коммутации пакета данных в ЦК; пропускная способность каналов ПД; объем пакета данных, передаваемого по маршруту.

2. За счет маршрутизации информационных потоков возможно влияние на изменение таких параметров как длина маршрутов и интенсивность потоков данных, передаваемых по ним, являющихся определяющими при расчете средней задержки пакета данных в ИТС

3. Выбранный показатель эффективности маршрутизации информационных потоков в ИТС определяется суммарным произведением значений длин маршрутов и интенсивностей потоков данных, распределяемых по ним с учетом величины суммарной интенсивности передаваемых потоков в ИТС. Это делает возможным минимизацию средней задержки пакета данных в ИТС за счет нахождения минимального значения выбранной целевой функции в процессе маршрутизации информационных потоков, учитывающей при определении маршрутов и распределении потоков данных вышеперечисленные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарев В., Трестер Г., Чернега В. *Цифровая обработка сигналов: методы и средства*. – Х.: Конус, 2001. – 398 с.

2. Галузинський Г.П., Гордієнко І.В. Сучасні технологічні засоби обробки інформації. – К.: КНЕУ, 1998. – 223 с.
3. Додонов О.Г., Сенченко В.Р., Страшилін І.В. Побудова систем адміністрування та управління розподіленими корпоративними мережами // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2002. – № 1. – С. 58 – 69.
4. Компьютерные технологии обработки информации. / Под ред. С.В. Назарова. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 247 с.
5. Кульгин М.Б. Коммутация и маршрутизация IP/IPX трафика. – М.: Компьютер-пресс, 1998. – 324 с.
6. Королёв А.В., Кучук Г.А., Гиневский М.И. Алгоритм маршрутизации в замкнутой корпоративной вычислительной сети // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып. 1(7). – С. 179 – 183.
7. Митрофанов Ю.И., Юдаева Н.В. Модели и анализ сетей массового обслуживания с управлением маршрутизацией // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 6. – С. 104 – 113.
8. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – С.-Пб: БХВ, 2000. – 512 с.
9. Севаст'яненко А.О. Щодо оптимізації процесу маршрутизації в інтелектуальній мережі // Праці УНДІРТ. – 2001. – № 1. – С. 54 – 58.
10. Сергиевский М. Сетевые технологии: что нас ждет // Компьютер Пресс. – 2000. – № 1. – С. 83 – 85.
11. Кучук Г.А., Пашнев А.А., Калашиник Д.Н. Аналитическая оценка средней задержки информационного пакета // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 2. – С.104 – 108.
12. Королёв А.В., Кучук Г.А., Пашнев А.А. Распределение информационных потоков в вычислительных сетях // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. – № 6. – С. 47 – 50.
13. Пашнев А.А. Распределение разнородных информационных потоков в вычислительной сети с целью минимизации их стоимостных характеристик // Системы обработки информации. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вып. 1(5). – С. 117 – 124.
14. Kobayashi H., Konheim A.G. Queuing models for computer communications systems analysis // JPII trans. on Commun. – 1977. – Vol. COM. – 40. – P. 2 – 29.
15. Ромашкова О.Н. Обработка пакетной нагрузки в информационных сетях. – М.: МИИТ, 2001. – 244 с.

Поступила 4.07.2003

ГИНЕВСКИЙ Михаил Иванович, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, нач. ИВЦ ХВУ. В 1969 году окончил Харьковское ВКИУ. Область научных интересов – обработка информации.

КУЧУК Георгий Анатольевич, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., начальник НИО ИВЦ ХВУ. В 1977 году окончил мехмат Московского государственного университета. Область научных интересов – обработка информации.

ПАШНЕВ Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, научн. сотр. ИВЦ ХВУ. В 1993 году окончил Харьковское высшее военное авиационное училище радиоэлектроники. Область научных интересов – системы обработки и передачи данных.