

Уравнения решаются рекуррентно, начиная с  $\tau_1, \tau_{s_2}, \dots$

$$\tau_p = \frac{\tau_0}{(1 - \sigma_p)(1 - \sigma_p)}; \quad \sigma_p = \sum_{i=p}^P \rho_i. \quad (3)$$

По полученным выражениям (1 – 3) можно рассчитывать характеристики качества обслуживания для всех приоритетных классов и оптимизировать дисциплину обслуживания ОС РВ.

**Заключение.** В данной работе представлены результаты анализа возможных дисциплин обслуживания операционных систем реального времени, применяемых в системах управления производственными и технологическими процессами. Используя полученные соотношения для характеристик качества обслуживания, можно выбирать дисциплину обслуживания ОС РВ в зависимости от состояния управляемого объекта и вида решаемой задачи.

#### Литература

1. Кертен Р. Введение в QNX/Neutrino 2: Руководство по программированию приложений реального времени в QNX Real-timePlatform / Р. Кертен. – СПб.: Петрополис, 2001. – 514 с.
2. Зыль С.Н. Операционная система реального времени QNX: от теории к практике / С.Н. Зыль. – [2-е изд.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 192 с.
3. Очереди и точечные процессы [П. Франкен, Д. Кёниг, У. Арндт, Ф. Шмидт]. – К.: Наукова думка, 1984. – 284 с.
4. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.

УДК 004.7.052:004.414.2

Лукашенко В.В., к.т.н. (Национальный авиационный университет)

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОММУТАЦИОННЫХ УЗЛОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

**Лукашенко В.В. Оптимізація параметрів комутаційних вузлів в комп'ютерних мережах.** Розглянута задача оптимального вибору параметрів маршрутизатора по критеріях мінімального об'єму службового трафіку і достовірності таблиць маршрутизації. Виведені вирази для функціонала якості роботи маршрутизатора при суперечливих критеріях ефективності. Розраховані ключові показники ефективності, по яких можна вибрати оптимальні параметри маршрутизаторів, що конфігуруються.

**Ключові слова:** КОМП'ЮТЕРНА МЕРЕЖА, КОММУТАЦІЙНИЙ ВУЗОЛ, МАРШРУТИЗАТОР, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ, БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ

**Лукашенко В.В. Оптимизация параметров коммутационных узлов в компьютерных сетях.** Рассмотрена задача оптимального выбора параметров маршрутизатора по критериям минимального объема служебного трафика и достоверности таблиц маршрутизации. Выведены выражения для функционала качества работы маршрутизатора при противоречивых критериях эффективности. Рассчитаны ключевые показатели эффективности, по которым можно выбирать оптимальные конфигурируемые параметры маршрутизаторов.

**Ключевые слова:** КОМПЬЮТЕРНАЯ СЕТЬ, КОММУТАЦИОННЫЙ УЗЕЛ, МАРШРУТИЗАТОР, ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ, МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

**Lukashenko V.V. Optimization of commutation node parameters in computer networks.** The task of optimum choice of parameters of router on the criteria of minimum volume of official traffic and authenticity of routing directories is considered. Expressions for functional of quality of work of router at the contradictory criteria of efficiency are shown out. The key indexes of efficiency are expected, on which it is possible to choose the optimum configured parameters of routers.

**Keywords:** COMPUTER NETWORK, COMMUTATION NODE, ROUTER, CRITERION FUNCTION, MULTI CRITERIA OPTIMIZATION

**Введение.** Эффективность функционирования компьютерных сетей в значительной степени определяется значениями конфигурируемых параметров коммутационных узлов, настройка которых осуществляется в зависимости от выполнения условий доставки сообщений. К конфигурируемым параметрам, в первую очередь, относится используемый протокол маршрутизации и интервалы формирования служебных пакетов.

Разработанные модели на основе теории массового обслуживания позволяют оценить эффективность функционирования процесса маршрутизации, обосновать выбор того или иного протокола маршрутизации, настроить конфигурируемые параметры протокола маршрутизации. Методика анализа сводится к расчету характеристик сетевого узла как системы массового обслуживания [1, 2]. Под сетевыми узлами в данном случае понимаются коммутационные устройства (маршрутизаторы, коммутаторы второго и третьего уровней).

Выполнение или невыполнение условия доставки сообщения зависит от достоверности таблицы маршрутизации или, другими словами, от того, насколько близок к оптимальному маршрут отправки сообщения. Достоверность таблиц маршрутизации прямо зависит от временного интервала рассылки сообщений, содержащих маршрутную информацию. Поэтому необходимо найти оптимальное соотношение между интенсивностью служебного трафика, которая определяется средним периодом отправки информационных сообщений, и относительным числом потерянных заявок.

При обновлении таблиц маршрутизации корректируются устаревшие маршруты. Маршруты, оставшиеся актуальными на момент обновления, сохраняются. В качестве оценки достоверности таблицы маршрутизации взято отношение числа маршрутов, актуальных на момент обновления, к общему числу маршрутов. Ясно, что чем выше интенсивность обновления, тем больше достоверность таблиц маршрутизации.

**Постановка задачи.** Как отмечено в [3], маршрутизатор – это устройство, использующее одну и более метрик для определения оптимального пути передачи сетевого трафика на основе информации сетевого уровня. По существу, маршрутизатор представляет собой многопроцессорную систему с необходимым программным обеспечением и устройствами ввода/вывода. Маршрутизатор выполняет две основные функции: переключение трафика и обслуживание среды, в которой он работает. Обе функции можно реализовать на одном и том же процессоре, хотя это не обязательно. Типовая структура маршрутизатора как сетевого коммутационного узла представлена на рис. 1.

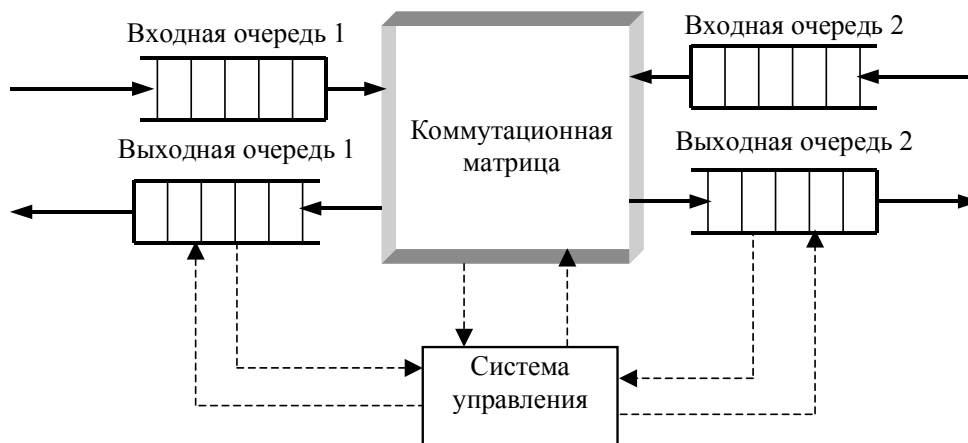


Рис. 1. Типовая структура сетевого коммутационного узла

К ключевым показателям эффективности работы маршрутизатора можно отнести общее время задержки входящего пакета и относительное число ошибочно направленных пакетов. Эти показатели зависят от скорости обработки пакетов в маршрутизаторе и темпа обновления маршрутной информации. В свою очередь, при увеличении темпа обновления маршрутной информации увеличивается объем служебного трафика. Кроме того, эффективность работы маршрутизатора зависит и от применяемого алгоритма расчета

оптимального маршрута. Следовательно, задача оптимизации параметров маршрутизатора является многокритериальной, а частные критерии – противоречивыми. Поэтому в качестве целевой функции необходимо рассматривать некий функционал, зависящий от множества параметров.

**Выбор и обоснование целевой функции.** Целевая функция представляет собой функционал набора нормированных параметров, характеризующих тот или иной аспект работы маршрутизатора, с учетом весовых коэффициентов, определяющих значимость сопоставленных с ними параметров в соответствии с целью. Выбор вида и характеристик целевой функции определяется следующими факторами:

- маршрутизатор может работать в различных режимах, имеющих различные количественные критерии оценки эффективности работы;
- в каждом из режимов работа маршрутизатора может описываться различными параметрами, для совместного учета которых требуется выбор разных целевых функций;
- значимость параметров может меняться в зависимости от задач, решаемых маршрутизатором конкретного класса; например, они различны для магистральных маршрутизаторов и маршрутизаторов локальных сетей.

Обозначим целевую функцию через  $\Psi(\bar{V})$ . Она представляет собой сумму двух слагаемых:

$$\Psi(\bar{V}) = k_1 \Psi_1(\bar{V}_{tr}) + k_2 \Psi_2(\bar{V}_{pp}), \quad (1)$$

где  $\Psi_1(\bar{V}_{tr}), \Psi_2(\bar{V}_{pp})$  – функционалы качества работы маршрутизатора в режимах построения таблиц маршрутизации и обработки пакетов соответственно;  $\bar{V}, \bar{V}_{tr}, \bar{V}_{pp}$  – общий вектор параметров, вектор параметров таблицы маршрутизации и вектор параметров алгоритма передачи пакетов соответственно;  $k_1, k_2$  – коэффициенты веса и нормировки.

Функционал качества работы маршрутизатора в режиме построения таблиц маршрутизации зависит от таких параметров, как время  $\tau_c$  сходимости алгоритма поиска маршрута, расход сетевого ресурса  $d_r$  на передачу сигнальной информации, показатель  $f_{opt}$  оптимальности маршрута. Эти параметры статистически не связаны друг с другом, поэтому их можно представить как аддитивную меру множества с соответствующими весовыми коэффициентами:

$$\Psi_1(\bar{V}_{tr}) = k_{11} \Psi_{11}(\tau_c) + k_{12} \Psi_{12}(d_r) + k_{13} \Psi_{13}(f_{opt}). \quad (2)$$

В функционал качества, характеризующий работу маршрутизатора в режиме обработки пакетов, входят такие параметры, как пропускная способность, задержка и надежность передачи пакетов. Как показывает анализ процессов обработки пакетов, эти величины имеют одну основу и поэтому сильно коррелированы между собой. Поэтому здесь целесообразно применять методы статистического анализа [4,5], в частности, множественного корреляционного и регрессионного анализа [6]. В качестве ключевого показателя эффективности обработки возьмем задержку пакета в маршрутизаторе:

$$t_r = t_p + t_w, \quad (3)$$

где  $t_p$  – время непосредственной обработки пакета;

$t_w$  – среднее время ожидания пакета в очереди.

Таким образом, мы приходим к задаче минимизации функционала аддитивной меры множества аппаратно-программных средств нижнего и среднего уровней многоуровневой информационно-вычислительной системы:

$$\Psi[d_{\max}, M_s, \tau_c, d_r, f(s, h), t_p, t_w] = \min_{V_\Psi} \sum_{k=1}^K w_k c_k, \quad (4)$$

где  $d_{\max}$  – максимальная длина маршрута в рассматриваемом сегменте;  $M_s$  – среднее число сетевых узлов на сетевой сегмент;  $f(s, h) \rightarrow f_{opt}$  – пропускная способность линии передачи данных от терминального узла  $s$  до сетевого узла  $h$  уровня сетевого сегмента;  $\mathbf{V}_{\Psi}^T = [d_{\max}, M_s, \tau_c, d_r, f(s, h), t_p, t_w]$  – вектор параметров, по которым минимизируется функционал  $\Psi$ ;  $T$  – символ транспонирования;  $c$  – общая стоимость доставки данных;  $c_k$  – стоимость функционирования каждого из компонентов системы;  $w_k$  – коэффициенты нормировки.

Нормировка параметров осуществляется относительно максимально допустимых значений, которые находят расчетным путем.

С учетом соотношений (3,4) запишем выражение для расчета интенсивности  $\lambda_{tr}$  информационного трафика, генерируемого маршрутизатором в процессе работы в сегменте, содержащем  $M_s$  сетевых узлов:

$$\lambda_{tr} = \sum_{m=1}^{M_s} \left\{ C_m \sum_{n=1}^{N_c} K_n / k_n \left[ \frac{(L_{hk} + b_n + k_n b_{rk})}{T_k} \right] \right\}, \quad (5)$$

где  $C_m$  – число информационных сообщений, рассылаемых  $m$ -м маршрутизатором;  $N_c$  – количество типов информационных сообщений, рассылаемых  $m$ -м маршрутизатором;  $K_n$  – общее число маршрутов, которые необходимо описать в информационных сообщениях;  $k_n$  – максимальное количество маршрутов, которое можно описать в одном сообщении;  $L_{hk}$  – длина (в байтах) заголовка сообщения;  $b_n$  – длина заголовка  $n$ -го пересылаемого пакета;  $b_{rk}$  – количество байт, необходимое для описания одного маршрута в сообщении  $n$ -го типа;  $T_k$  – среднее значение периода отправки сообщений  $n$ -го типа;  $\lceil x \rceil$  – ближайшее к числу  $x$  (большее) целое число.

**Результаты численного анализа.** Для оценки оптимального значения периода  $T_k$  отправки информационных сообщений и достоверности таблиц маршрутизации была разработана модель маршрутизатора как системы массового обслуживания (рис. 2). Используя эту модель, можно имитировать процессы обработки сетевого трафика и работу маршрутизатора, задавать параметры маршрутизатора, количество узлов и топологию сети.

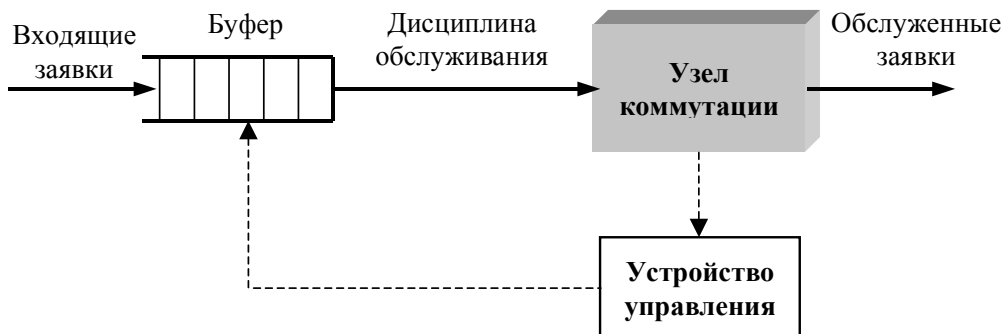


Рис. 2. Коммутационный узел как система массового обслуживания

Как отмечалось выше, в качестве оценки достоверности таблицы маршрутизации взято отношение числа маршрутов, актуальных на момент обновления, к общему числу маршрутов. На рис. 3 изображен график зависимости достоверности  $\Delta(T_k)$  от среднего периода обновления таблицы маршрутизации.

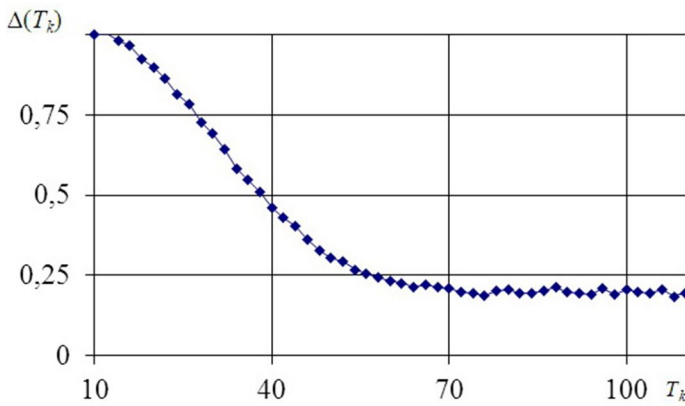


Рис. 3. График зависимости  $\Delta(T_k)$

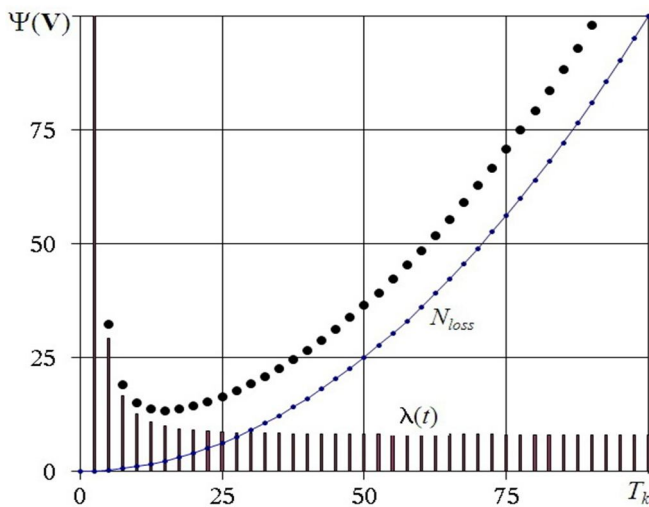


Рис. 4. Графики результирующей целевой функции  $\Psi(V)$

С применением математической модели маршрутизатора, представленного на рис.2, были получены зависимости интенсивности служебного трафика и процента потерянных заявок от периода рассылки служебных сообщений.

С учетом допущения об аддитивности меры множества оптимизируемых параметров была рассчитана результирующая целевая функция настройки параметров маршрутизатора (рис. 4). На этом рисунке показана зависимость результирующей целевой функции  $\Psi(V)$  от среднего значения периода рассылки служебного трафика:  $\lambda(t)$  – интенсивность рассылки информационных сообщений;  $N_{loss}$  – число потерянных пакетов из-за недостоверности таблицы маршрутизации.

**Заключение.** С использованием разработанной методики можно оценивать правильность выбора алгоритма расчета маршрутов, выбирать оптимальный период рассылки маршрутных сообщений для конкретного количества узлов в сети. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании сетей, для устранения узких мест и минимизации объема служебного трафика.

### Литература

1. Баховский П.Ф. Асимптотические оценки эффективности распределенной реализации виртуальных технических функций в сетях мобильной связи новых поколений / П.Ф. Баховский, Н.А. Виноградов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2009. – №4(12). – С. 40-46.
2. Пономаренко А.В. Рациональный выбор параметров и структуры корпоративных информационно-вычислительных сетей для трубопроводных систем / А.В. Пономаренко // Проблеми інформатизації та управління. – 2010. – №3(31). – С. 132-138.
3. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для ВУЗ-ов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – [4-е изд.]. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
4. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол; пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 463 с.
5. Мирский Г.Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения / Г.Я. Мирский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 320 с.
6. Афифи А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.