

9. Модель физических характеристик сигналов / Б. Я. Советов, М. О. Колбанев, Т. М. Татарникова // Материалы VIII Санкт-Петербург. межрегион. конф. „Информационная безопасность регионов России“, 23—25 окт. 2013 г. СПб: СПОИСУ, 2013.

Сведения об авторах

- Михаил Олегович Колбанёв** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: mokolbanev@mail.ru
- Екатерина Дмитриевна Пойманова** — Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; ассистент; E-mail: e.d.romanova@gmail.com
- Татьяна Михайловна Татарникова** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: tm-tatarn@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
прикладных информационных
технологий

Поступила в редакцию
28.04.14 г.

УДК 681.3

М. О. КОЛБАНЁВ, Н. А. ВЕРЗУН, А. В. ОМЕЛЯН ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ ПАКЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Исследуется зависимость энергопотребления сетей связи от алгоритмов формирования блоков данных при пакетной коммутации.

Ключевые слова: информационные технологии, энергопотребление сетей связи, коммутация пакетов, локальная сеть, старение информации.

Еще пионеры кибернетики, изучая информацию, отмечали, что любые информационные преобразования основаны на физических законах. Например, А. А. Ляпунов [1] указывал на ограничения пространства, времени и энергии при реализации информационных технологий, так как концентрация значительной массы знаков в ограниченном объеме пространства невозможна, а получение новых знаков и их передача в новый носитель за малое время, а также регистрация новых знаков посредством малых энергетических затрат неосуществимы. Р. Ландауэр [2] ставит знак равенства между информационными и физическими процессами, поскольку „информация физична“. Определение понятия „информация“, которое следует из работ Н. Винера [3], явно связывает информацию с ее физическими свойствами: „Информация — это обозначение содержания, полученное нами из внешнего мира в процессе приспособления к нему нас и наших чувств“.

Исследованию физических свойств информации уделялось недостаточное внимание до тех пор, пока действовал закон Г. Мура, в соответствии с которым объемные характеристики информационных систем росли экспоненциально. Однако в последние годы стало очевидным существование некоторого предела возможностей современных полупроводниковых технологий. В компьютерном мире этот предел называют точкой Стерлинга, который в 2012 г. предположил, что эксафлопсный рубеж окажется пределом развития современных суперкомпьютеров. Точка Стерлинга — это условное ограничение производительности суперкомпьютера, построенного на доступных технологиях.

Главным системным ограничением для суперсистем хранения, передачи и обработки данных является энергопотребление. В настоящее время крупные центры обработки данных, системы коммутации и маршрутизации, суперкомпьютеры потребляют в процессе своей работы

десятки мегаватт электроэнергии. Один маршрутизатор операторского класса, например, каждый год потребляет столько энергии, сколько выделяется при сжигании десятков тонн угля.

Особенностью современных информационно-коммуникационных технологий [4], использующих принцип фон Неймана, является необходимость многократных процессов сохранения, распространения и обработки данных. Это означает, что объемы энергии, потребляемые каждым информационным битом за время его жизненного цикла, увеличиваются многократно.

К числу главных причин энергетической неэффективности мощных информационных систем относятся затраты на распространение данных и сложность аппаратно-программного обеспечения. Одним из путей повышения энергоэффективности технологий распространения данных является рациональный выбор алгоритмов управления информационными потоками.

Сегодня коммутационные сети базируются в основном на технологии коммутации пакетов и в сетях доступа, и в глобальных сетях, которые разрабатывались в прошлом веке, когда никто не задумывался о пределах закона Г. Мура. Разработчики стремились к обеспечению совместной работы неоднородных сетей, повышению процента использования оборудования, экономии пропускной способности каналов и выполнению работы в реальном времени.

При рассмотрении сетевых технологий относительно энергии, потребляемой центрами коммутации и обработки данных в процессе оказания информационно-коммуникационных услуг [5], выделим, для упрощения, два основных процесса пакетной коммутации: обработку адресов и другой служебной информации (СИ) в процессе коммутации, формирование линейного кода для транспортировки данных по сети.

Согласно принципу Ландауэра [6], независимо от физики и технологии вычислительного процесса при потере 1 бита данных, как минимум, выделяется энергия, равная $E = k_B \tau \ln 2$, Дж, где k_B — постоянная Больцмана, τ — температура, К, при которой ведутся информационные преобразования. Следовательно, количество энергии, потребляемой для обработки информации, зависит от объема данных, подлежащих обработке, а энергопотребление на формирование линейного кода зависит от количества бит транспортируемых данных.

Если зафиксировать в битах размер s информационной части блоков данных, распространяемых по сети, то объем данных, подлежащих распространению, может быть измерен в количестве таких блоков. Очевидно, что реальный объем распространяемых данных будет больше информационного на величину, соответствующую объему служебных данных, присоединяемых к каждому информационному блоку.

Параметр s будет влиять и на энергопотребление, поскольку изменение s приводит, в свою очередь, к изменению количества пересылаемых блоков данных и, соответственно, количества операций обработки служебных данных, а также к изменению количества бит, пересылаемых по каналу.

Обозначим через $\eta_{обр}$, η_p — коэффициенты, учитывающие особенности используемых технологий обработки и распространения данных соответственно. Тогда для оценки количества энергии, потребляемой в процессе обработки и распространения данных, можно воспользоваться формулами [7]

$$E_{обр} = k_B \tau H(s) \eta_{обр}; \quad E_p = k_B \tau K(s) \eta_p, \quad (1)$$

где $H(s)$ — количество обрабатываемых данных, бит; $K(s)$ — количество бит, распространяемых по каналу.

Исследуем энергопотребление на обработку и транспортировку данных в процессе оказания услуги по доставке файла в локальной сети передачи данных (ЛСПД). Для моделирования процессов старения информации [8] используем аппарат систем массового обслуживания (СМО). Математические модели ЛСПД в дискретном времени представлены в работах [9, 10].

Для определенности предположим: ЛСПД однородна; на входы N станций пользователей поступают бернуллиевские потоки пакетов с параметром q_n на интервале $T_0 = 1/V$, где V — скорость передачи данных, бит/с; интенсивность входного потока пакетов $\lambda_n = q_n/T_0$, пакетов/с; метод доступа — синхронный временной; топология — шина; используется режим пакетной передачи, и файл длиной F , бит, разбивается на равные части размером s . Схема разбиения файла и формирования протокольных блоков (ПБ) транспортного (ТУ), сетевого (СУ) и канального (КУ) уровней приведена на рис. 1. Протокольные блоки образуются путем добавления соответствующих заголовков (ЗТУ, ЗСУ, ЗКУ).

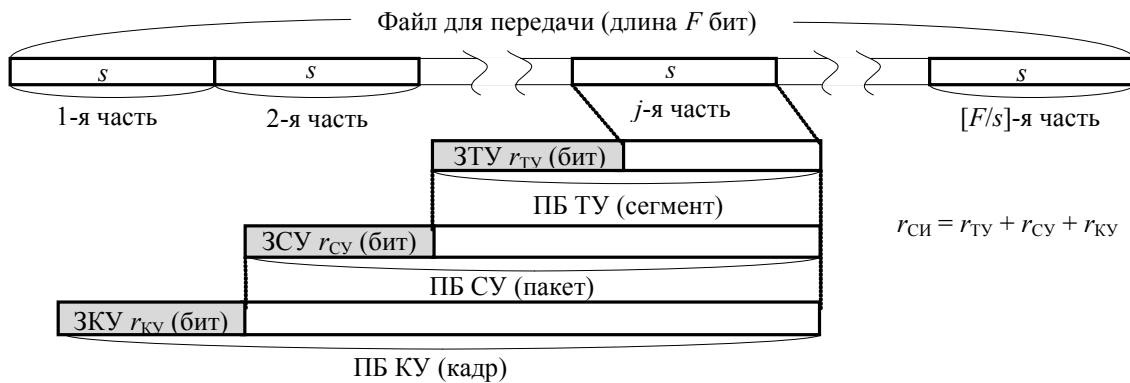


Рис. 1

Расчет длительности, в секундах, временного окна доступа при использовании алгоритма решающей обратной связи с ожиданием и передачей квитанции осуществляется по формулам

$$T = cV^{-1}, \quad c = \tilde{n}_k + r_0, \quad \tilde{n}_k = s + r_{СИ}, \quad r_0 = 4 \cdot 10^{-6} D_k V + n_{кв} + t_d V, \quad (2)$$

где c — длина временного окна доступа, выраженная в дискретном времени, бит; \tilde{n}_k — длина передаваемого кадра, бит; r_0 — время (бит), затрачиваемое на передачу квитанции длиной $n_{кв}$, бит, и декодирование кадра и квитанции t_d , с; D_k — длина канала, км; в формат кадра входят (см. рис. 1) служебные поля длиной $r_{СИ}$, бит, и информационная часть s .

Математическая модель ЛСПД представляется в виде СМО $M^1/G^1/1$ на интервалах T_0 и задается совокупностью следующих выражений:

$$f_q(z) = \frac{(1-\Theta)(1-z)g(z)}{1-(1-q_n)z - q_n z g(z)}, \quad \Theta = q_n c N / Q, \quad \Theta < 1; \quad (3)$$

$$g(z) = \frac{Q}{z^{cN} - P}, \quad P = 1 - Q, \quad Q = (1-p)^{\tilde{n}_k},$$

где $f_q(z)$ — z -преобразование ряда распределения (прр) времени задержки кадра в сети; $g(z)$ — z -прр интервала обслуживания; Q — вероятность успешного обслуживания; Θ — вероятность занятости буфера станции; p — вероятность ошибки в канале передачи.

В условиях неидеальной среды (когда $p \neq 0$), до реализации доставки, возможно осуществление нескольких $(0, 1, 2, \dots, v, \dots)$ попыток передачи кадра. Будем считать повторения передач независимыми. Тогда

$$g_a(v) = QP^{v-1}, \quad \bar{v} = 1/Q, \quad (4)$$

где $g_a(v)$ — ряд распределения числа передач v с параметром Q : см. формулы (3); \bar{v} — среднее число передач.

Используя формулы (2)—(4), найдем выражения для вероятности своевременной доставки файла, количества обрабатываемых данных и количества бит, распространяемых по каналу при передаче файла длиной F , разбитого на части размером s :

$$\overline{\Pi_{qF}} = (\overline{\Pi_q})^{[F/s]}, \quad \overline{\Pi_q} = f_q(z) \Big|_{z=Q_{\text{доп}}^{-1}}, \quad Q_{\text{доп}} = 1 - T_0 / \overline{T_{\text{доп}}}, \quad (5)$$

$$H(s) = [F/s] \overline{v} r_{\text{СИ}}, \quad K(s) = [F/s] \overline{v} (s + r_{\text{СИ}}),$$

где $\overline{\Pi_q}$ — вероятность своевременной доставки передаваемых кадров, рассчитываемая с учетом формул (3); $\overline{T_{\text{доп}}}$ — среднее допустимое время доставки.

Предположим, что операции обработки служебной части передаваемых кадров и формирование линейного кода для передачи по каналу выполняет один и тот же процессор и $\eta_{\text{обр}} \approx \eta_p = \eta$. Тогда выражения (1) после подстановки в них формул (5) примут следующий вид:

$$E_{\text{обр}} = k_B \tau \eta \frac{[F/s] r_{\text{СИ}}}{Q}, \quad E_p = k_B \tau \eta \frac{[F/s] (s + r_{\text{СИ}})}{Q}. \quad (6)$$

Рассмотрим, как влияет размер передаваемых блоков на энергозатраты, связанные с обработкой СИ и формированием линейного кода для передачи файла по ЛСПД, и на вероятностную характеристику — вероятность своевременной доставки файла при использовании физической среды передачи низкого ($p=10^{-5}$) и высокого ($p=10^{-8}$) качества.

Графики данных зависимостей представлены на рис. 2, а, б соответственно.

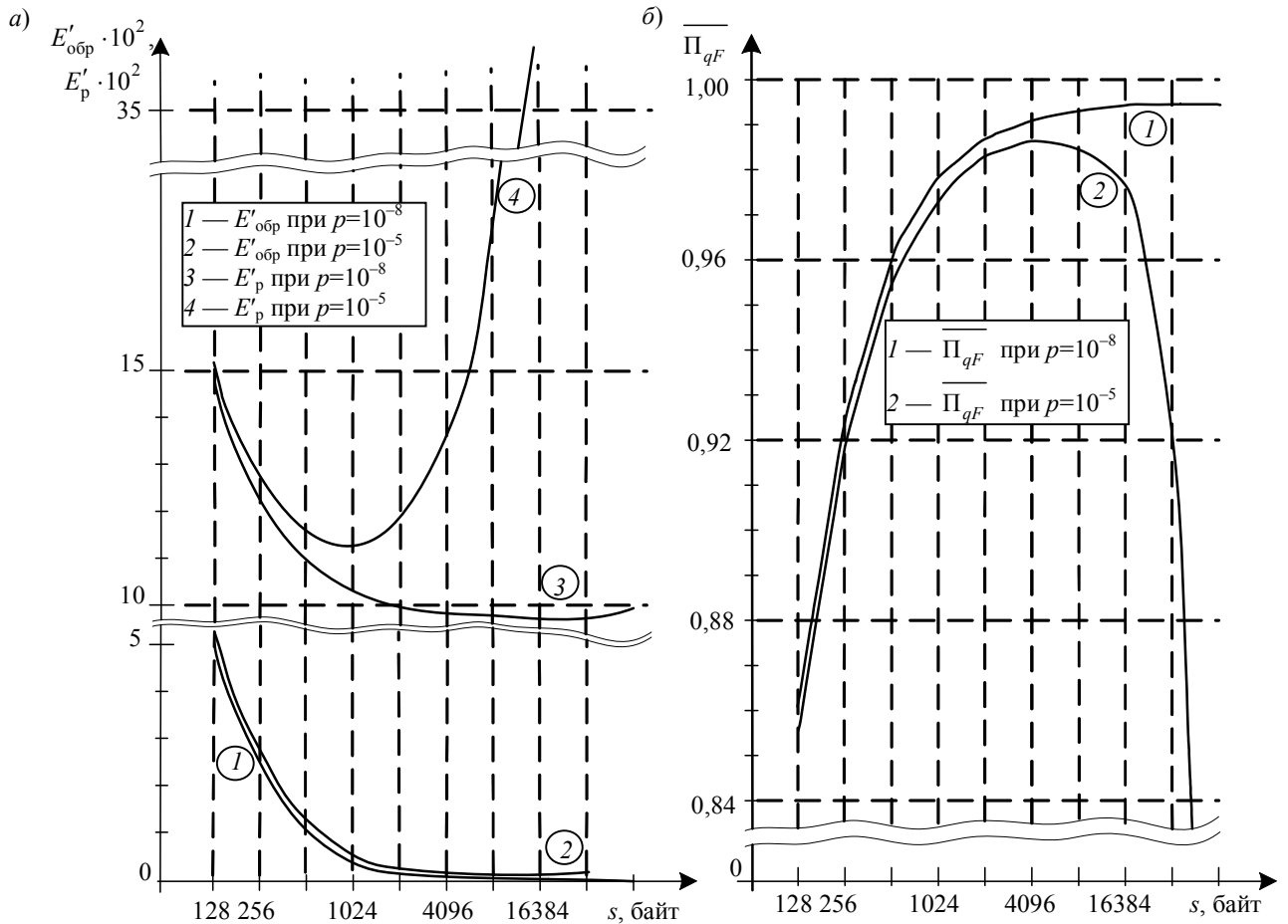


Рис. 2

Расчеты выполнялись при следующих исходных данных: $N=20$, $V=10^{10}$ бит/с, $D_K=0,2$ км, $\overline{T_{\text{доп}}}=0,2$ с, $t_d=2 \cdot 10^{-6}$ с, $\lambda_{\text{и}}=15$ пакетов/с, $n_{\text{кв}}=32$ бит, $F=65\,536$ байт, $r_{\text{СИ}}=64$ байта. Данные зависимости (см. рис. 2, а) представлены в относительном виде, т.е.

$$E'_{\text{обр}} = E_{\text{обр}} / E_0, \quad E'_p = E_p / E_0,$$

где E_0 — минимальное значение энергии, затрачиваемое на операцию (обработки или распространения); при указанных исходных данных за величину E_0 принята энергия, затрачиваемая на обработку служебной информации при передаче пакетов разметом $s = 65\,536$ байт.

Анализ результатов вычислений (см. рис. 2) показывает:

— качество канала (параметр p) существенно влияет на энергопотребление ЛСПД; при определенных условиях существует такое значение s , при котором уровень потребления энергии минимален;

— оптимальные значения s , выбранные по критериям вероятности своевременной доставки пакетов и энергопотребления, не совпадают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лянунов А. А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. М.: Наука, 1980. С. 320—323.
2. Landauer R. Information is Physical // Proc. Workshop on Physics and Computation PhysComp'92 (IEEE Comp. Sci. Press). Los Alamitos, 1993. P. 1—4.
3. Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. радио, 1968.
4. Двухуровневая модель информационного взаимодействия / Б. Я., Советов, М. О. Колбанёв, Т. М. Татарникова // Материалы VIII Санкт-Петербург. межрегион. конф. „Информационная безопасность регионов России“, 23—25 окт. 2013 г. СПб: СПОИСУ, 2013. С. 184—185.
5. Колбанёв М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. СПб: СПбГУ, 2002.
6. Landauer R. Irreversibility and heat generation in the computing process // IBM Journal of Research and Development. 1961. Vol. 5. P. 183—191.
7. Александров В. В., Кулешов С. В. Алгоритм и программа. Бит и джоуль. По пути прогресса — к новым достижениям: Сб. материалов / Под ред. Г. В. Анцева. СПб: Логос, 2006. С. 192—197.
8. Советов Б. Я., Колбанёв М. О., Татарникова Т. М. Оценка вероятности эрланговского старения информации // Информационно-управляющие системы. 2013. № 6. С. 25—28.
9. Суздальев А. В., Чугреев О. С. Передача данных в локальных сетях связи. М.: Радио и связь, 1987. 168 с.
10. Верзун Н. А. Модель пакетной передачи речи со сжатием в локальных сетях с интеграцией служб // Сети связи и распределение информации: Сб. науч. тр. учебных заведений связи. СПб: СПбГУТ, 1995. С. 45—49.

Сведения об авторах

Михаил Олегович Колбанёв

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: mokolbanev@mail.ru

Наталья Аркадьевна Верзун

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: dina_25@hotmail.ru

Александр Владимирович Омелян

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный экономический университет, кафедра прикладных информационных технологий; E-mail: omers27@mail.ru

Рекомендована кафедрой
прикладных информационных
технологий

Поступила в редакцию
28.04.14 г.