

УДК 621.391

# ОЦЕНКА ГРАНИЦ ИНТЕРВАЛА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИНТЕРНЕТ-СОЕДИНЕНИЯ

Статья посвящена вопросам обработки результатов измерений показателей качества услуги «Доступ в сеть интернет». Рассматривается определение достигнутой скорости передачи, взятое из стандарта ETSI EG 202 057-4. Обосновывается выбор отображения результата измерения в виде средней оценки и интервала неопределенности. Анализируются задержки, осуществляемые на физическом (сеть Ethernet) и транспортном (протокол TCP) уровнях семиуровневой системы OSI при передаче тестового информационного файла протоколом FTP. Статья предназначена для специалистов, занимающихся измерениями и контролем показателей качества услуг передачи данных, и всех, кто интересуется методами обработки результатов измерений показателей качества услуги доступа в сеть интернет.



**Я.С. ЯЗЛОВЕЦКИЙ,**  
старший научный сотрудник  
ОАО «Гипросвязь»,  
yazlavetski@giprosvjaz.by

Работа является продолжением рассмотрения вопросов, связанных с проблемами измерения скорости передачи данных интернет-соединения, затронутых в [1].

**Проблемы сличения результатов измерений.** При самостоятельном измерении скорости передачи интернет-соединения с помощью различных программ, предлагаемых в интернете [2, 3], перед пользователями услуг «Доступ в сеть интернет» возникает проблема существования разных результатов измерений. Отраженные в этих программах результаты измерений могут отличаться на 10–20 %. Это различие присутствует даже в том случае, когда измерения производятся с помощью одной и той же программы на одном и том же сайте, но через некоторое время.

Кроме того, процесс измерения усугубляется тем, что в предлагаемых тарифных планах приводят различные наименования (или названия) параметров измерения. Например, в тарифных планах операторов электросвязи, оказывающих услуги «Доступ к сети интернет» и «Доступ к интерактивному телевидению», приводятся следующие наименования: «скорость приема/передачи, кбит/с» [4] и «входящая скорость, Мбит/с» [5], «скорость доступа в интернет,

Мбит/с» [6]. И это не полный перечень разнообразия терминов. Однако если обобщить эти наименования, то их можно отнести к определению скорости передачи на канальном (или физическом) уровне по модели OSI [7].

Для того чтобы решить проблему терминологии, в статье используется определение скорости передачи, приведенное в стандарте ETSI [8]. Предлагается форма представления этого параметра в виде двух компонент: средней оценки и интервала неопределенности, в котором гарантируется нахождение результата измерения с заданной вероятностью.

В работе приводятся результаты анализа влияния изменения задержек физического (сеть Ethernet) и транспортного (протокол TCP) уровней на границы интервала неопределенности.

**Определение скорости передачи данных интернет-соединения на основе пакетной передачи данных.** Как установлено в [1] и [8], скорость передачи данных интернет-соединения измеряется на прикладном уровне (application layer) семиуровневой сетевой модели OSI (Open systems interconnection) [7]. Согласно европейскому стандарту ETSI EG 202 057-4 [8] и ГОСТ Р 53632–2009

ее принято обозначать как «достигнутую скорость передачи данных» (Data transmission speed achieved –  $C_d$ ).

В соответствии с п. 5.2 в [8] величина  $C_d$  равна отношению числа бит ( $L$ ) переданного тестового информационного файла к времени ( $t_n$ ) его полной передачи без ошибок:

$$C_d = \frac{L}{T_n}, \text{ кбит/с}, \quad (1)$$

где  $T_n$  – период времени, начинающийся при принятии необходимой информации сетью доступа и оканчивающийся принятием последнего бита тестового информационного файла. Измерение параметра (1) производится со стороны пользователя услуги.

Так как в интернет-соединении существуют два разносторонних потока данных, то величина  $C_d$  должна оцениваться отдельно для входящего (download –  $C_{dd}$ ) и исходящего (upload –  $C_{ди}$ ) потоков данных.

Ввиду того что измеренные значения могут иметь большой разброс, оценивается также минимальное ( $C_{min}$ ), максимальное ( $C_{max}$ ) и среднее значения ( $C_m$ ) для каждого потока данных. Руководство по расчету этих значений приведено в Приложении G [8]. Очевидно, что точность результата измерений зависит от числа измерений. Выбор числа измерений, или, как принято называть, наблюдений (observations), рассчитывается в соответствии с Приложением С [8].

Требования к свойствам тестового информационного файла даются в приложении D [8].

Тестовый информационный файл передается методом пакетной передачи, а именно пакетами данных, сформированными протоколом прикладного уровня, например FTP, HTTP, и транспортного уровня, например TCP, UDP и т. д.

С учетом пакетного способа передачи данных выражение (1) может быть преобразовано в:

$$C_d = \frac{L}{T_n} = \frac{k N_T + N_O}{(t_{data\ transfer\ complete} - t_{data\ transfer\ start})}, \text{ кбит/с}, \quad (2)$$

где  $t_{data\ transfer\ start}$  – начало передачи тестового информационного файла;  $t_{data\ transfer\ complete}$  – окончание передачи тестового информационного файла;  $k$  – число пакетов при передаче тестового информационного файла без остатка  $N_O$ ;  $N_T$  – число бит в одном пакете данных тестового файла;  $N_O$  – остаток тестового файла, не кратный длительности  $N_T$ , т. е.  $0 < N_O \leq N_T$

Имеются различные толкования по поводу моментов начала ( $t_{data\ transfer\ start}$ ) и окончания ( $t_{data\ transfer\ complete}$ ) передачи тестового информационного файла. Например, в п. 6.1.7.3 [9] указываются два метода регистрации этих событий при использовании протокола FTP [10]. В одном из них, «методе В» [9], величина  $t_{data\ transfer\ start}$  входящего (download) или исходящего (upload) потоков данных фиксируется парой сигналов SYN и ASK протокола FTP [4]. Величина  $t_{data\ transfer\ complete}$  для входящего потока фиксируется парой сигналов SYN и ASK, а для исходящего – FIN и ASK.

Так как размер тестового информационного файла может быть не кратным размеру  $N_T$ , то в случае не одинаковых  $N_O$  и  $N_T$  ( $N_O \neq N_T$ ) остаток информационного файла  $N_O$  может быть передан с помощью пакета длительностью  $N_T$ , дополнив его до конца пустыми данными в виде  $(N_T - N_O)$  нулей. Таким образом, полностью тестовый информационный файл будет передан с помощью  $(k + 1)$  пакетов, включая последний пакет с остатком  $N_O$ .

Анализируя процесс пакетной передачи, можно говорить о периодичности передачи пакетов данных и обоснованности введения времени, затраченного на передачу одного пакета. Тогда выражение (2) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{(k + 1) N_T + (N_O - N_T)}{\sum_{i=1}^{(k+1)} T_{n,i}(t)} = \\ &= \frac{(k + 1) N_T + (N_O - N_T)}{\frac{1}{B} \sum_{i=1}^{k+1} (N_T + N_{изб,i})} = \\ &= B \frac{1 + \frac{(N_O - N_T)}{(k + 1) N_T}}{1 + \frac{1}{(k + 1) N_T} \sum_{i=1}^{k+1} N_{изб,i}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $T_{n,i}(t)$  – время, затраченное на передачу  $i$ -го пакета;  $B$  – скорость передачи одного бита на канальном уровне, бит/с;  $N_{изб,i}$  – число битовых интервалов, добавленных за период передачи  $i$ -го пакета, обусловленных выполнением различных функциональных процессов (формирование заголовков различных уровней в пакете данных, передача управляющих сигналов и т. д.).

Очевидно, значение  $T_{n,i}(t)$  может меняться в течение периодов передачи от 1 до  $k$ -го пакетов. Это связано с возможными изменениями значений следующих видов задержек: при передаче пакета через узлы (маршрутизаторы, коммутаторы, концентраторы) сети; при приеме сигнала, подтверждающего

безошибочный прием пакета; при низком трафике сети, т. е. уменьшенном отношении пропускной способности сети к числу узлов, одновременно участвующих в обмене данными в сети.

Из (3) следует, что с увеличением значения  $N_{изб,i}$  величина  $C_d$  снижается. Это происходит из-за увеличения времени  $T_{п,i}(t)$ .

**Определение термина «границы интервала неопределенности».** Известно, что обработка результата измерения начинается после окончания процесса измерений и получения результатов наблюдений:  $C_{д1}, C_{д2}, \dots, C_{дn}$ , где  $n$  – число наблюдений.

Стандартная форма представления результата измерения согласно [11] имеет вид

$$C_d = \tilde{A} \pm U, \tag{4}$$

где  $\tilde{A}$  – оценка измеряемой величины (среднеарифметическое значение);  $U$  – расширенная неопределенность, в интервале которой находится результат измерения с заданной вероятностью  $P$ .

Оценка измеряемой величины вычисляется по формуле

$$\tilde{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{ди}, \tag{5}$$

где  $C_{ди}$  – значение  $i$ -го наблюдения из ряда  $C_{д1}, C_{д2}, \dots, C_{дn}$ .

В зависимости от функции распределения значений данного ряда величина  $U$  может быть представлена двумя формами.

Первая применяется при условии, что ряд отвечает требованиям нормального закона распределения (распределения Гаусса) [12]. В этом случае первая форма представления неопределенности согласно [13] будет вычисляться по формуле

$$U = K u_c = K \sqrt{\sum_{j=1}^m u_j^2}, \tag{6}$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от вероятности  $P$  [14];  $m$  – число стандартных неопределенностей;  $u_c$  – суммарная неопределенность.

Суммарная неопределенность  $u_c$  в (6) содержит стандартные неопределенности ( $u_j$ ) по типу  $A$  ( $u_A$ ) и типу  $B$  ( $u_B$ ).

Стандартная неопределенность по типу  $A$ , обусловленная источниками неопределенности, имеющими случайный характер, определяется по формуле среднеквадратического отклонения (СКО):

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (C_{ди} - \tilde{A})^2}. \tag{7}$$

Как видно из (7), величина  $u_A$  зависит от измененных значений ряда  $C_{д1}, C_{д2}, \dots, C_{дn}$ .

Стандартная неопределенность по типу  $B$ , обусловленная источниками неопределенности,

имеющими систематический характер, определяется по формуле

$$u_B = \frac{b}{\sqrt{3}}, \tag{8}$$

где  $b$  – предел допускаемой абсолютной погрешности измерения средства измерения.

С учетом (7) и (8) границы интервала неопределенности математически могут быть представлены в виде интервала  $(-U, U)$  при вероятности  $P$ .

Вторая форма представления границ интервала неопределенности выражается через полученные при обработке минимальное  $C_{мин}$  и максимальное  $C_{макс}$  значения по алгоритму обработки согласно Приложению G [8]. Такая форма может быть введена в отображаемые результаты измерения на сайте [15]. В этом случае границы интервала неопределенности математически будут представлены в виде интервала  $(-(\tilde{A} - C_{мин}), (C_{макс} - \tilde{A}))$ , или  $(-U_1, U_2)$  при вероятности  $P$ , где  $U_1$  и  $U_2$  – нижняя и верхняя границы интервала неопределенности соответственно.

С учетом этого результат измерения (4) будет представлен в виде:

$$C_d = \begin{cases} \tilde{A} + U_2, \\ \tilde{A} - U_1. \end{cases} \tag{9}$$

Таким образом, имея результат измерения в виде выражения (4) или (9), можно сравнить (или слить) результаты измерения с результатами других программ. Причем сравнить не только по оценке измеряемой величины (5), но и границам интервалов неопределенностей  $(-U_1, U_2)$ .

Чтобы оценить границы интервала неопределенности, рассмотрим виды задержек на физическом и транспортном уровнях.

**Сравнение задержек физического и прикладного уровней.** Очевидно, что значения скоростей на прикладном (1) и физическом ( $C_{фy}$ ) уровнях отличаются по величине.

Самый простой метод измерения скорости передачи на физическом уровне – с помощью фильтрации пакетов с соответствующим IP-адресом оборудования пользователей для входящего или исходящего потока данных. Однако возникает вопрос: как узнать, что именно отфильтрованный пакет канального уровня относится к тестовому информационному файлу, а не к другому процессу передачи (например, к пакетам протоколов ARP, NAT, STP, NBNS, STUN и т. д.)? При этом методе не учитываются пакеты с поврежденным полем IP-адреса или CRC в результате коллизий и других мешающих факторов. Все это снижает объективность измерений. Такой

метод может быть использован при пассивном виде измерений, когда IP-пакеты контролируются как обычный трафик. Но в этом случае невозможно обеспечить одинаковые условия для сличения результатов измерения для различных географических (или административных) районов [16].

Для целей сравнения результатов измерений следует использовать метод, приведенный в [8]. Чтобы рассчитать скорость на физическом уровне, требуется в первую очередь учесть длительности заголовков, вводимых при формировании пакета данных от физического уровня до прикладного. На рисунке 1 показан пример формирования заголовков одного пакета при передаче информационного тестового файла с помощью протокола FTP [10].

С учетом рисунка 1 и выражения (3) время передачи  $i$ -го кадра Ethernet вычисляется по формуле

$$T_{п,i} = \frac{N_T}{B} + \frac{N_{ПР} + N_{FTP} + N_{TCP} + N_{IP} + N_{LLC} + N_{MAC} + N_{FCS} + N_{IPG}}{B} + \frac{N_{3,i}(t)}{B} = \frac{N_T + N_{изб}}{B} + T_{пф,i}(t), \quad (10)$$

где  $N_{ПР}$  – число бит в преамбуле пакета данных на физическом уровне;  $N_{FTP}$  – число бит в заголовке пакета прикладного протокола FTP;  $N_{TCP}$  – число бит в заголовке пакета транспортного протокола TCP;

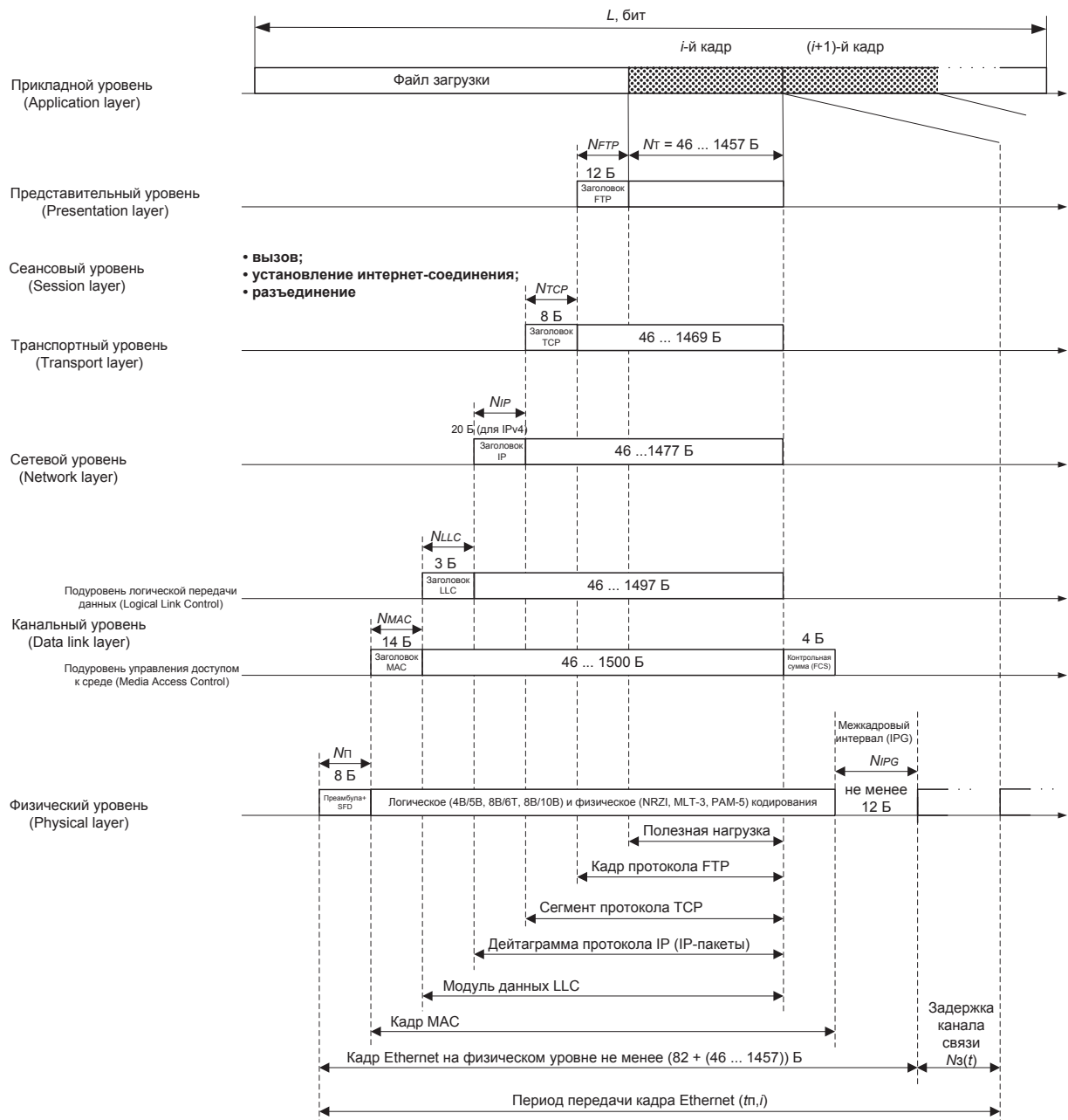


Рисунок 1

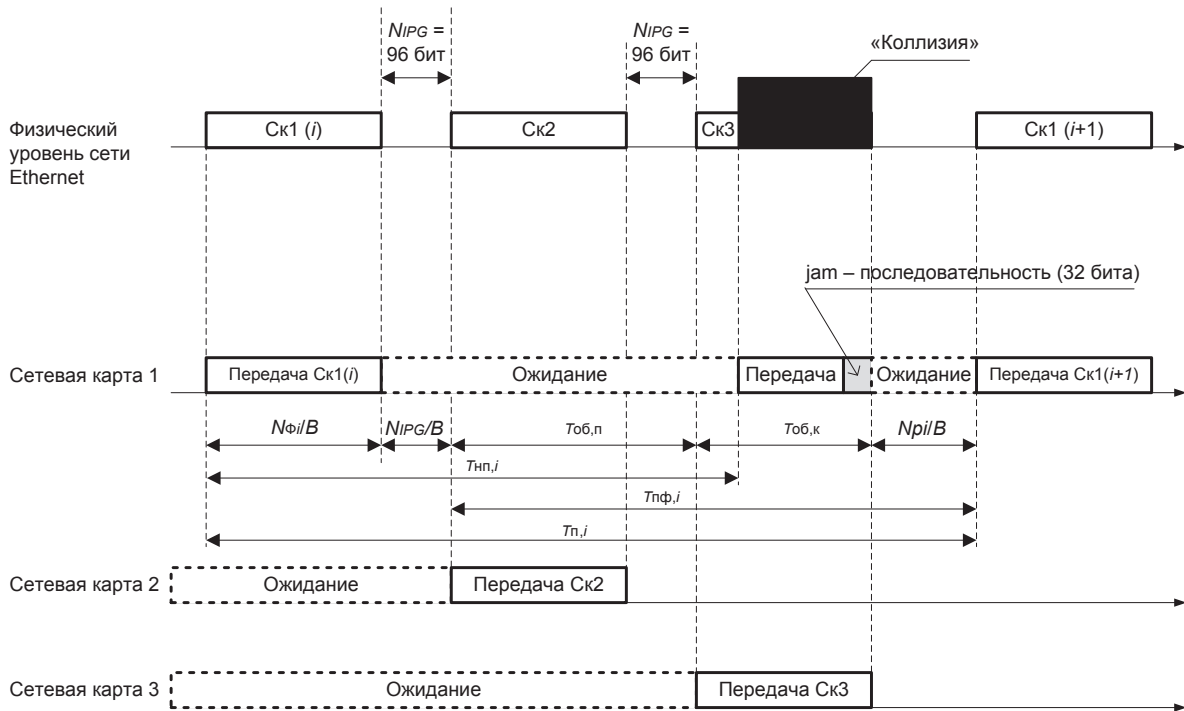


Рисунок 2

$N_{IP}$  – число бит в заголовке пакета протокола IP;  $N_{LLC}$  – число бит в заголовке пакета на подуровне LLC канального уровня;  $N_{MAC}$  – число бит в заголовке на подуровне MAC канального уровня;  $N_{FCS}$  – число бит в коде контрольной суммы, формируемой в подуровне MAC;  $N_{IPG}$  – число бит в межкадровом интервале на физическом уровне;  $T_{пф,i}(t) = \frac{N_{3i}(t)}{B}$  – задержка до момента решения передачи  $(i + 1)$  кадра;  $B$  – скорость передачи одного бита на канальном уровне, бит/с;  $N_{изб}$  – число избыточных бит в кадре Ethernet.

Из выражения (10) видно, что для передачи  $i$ -го сегмента размером  $N_T$  требуется время  $T_{пф,i}$ , которое имеет фиксированное значение, обусловленное заголовками соответствующих уровней, и случайное значение задержки  $T_{пф,i}(t)$ .

Случайная величина  $T_{пф,i}(t)$  обусловлена задержками на уровнях от прикладного до физического. Однако задержки транспортного и физического (или канального) уровней намного больше, чем на других уровнях. Поэтому в дальнейшем анализ рассмотрения влияния задержек на значение (10) сводится к анализу на двух уровнях.

**Возможные задержки передачи кадров в сети Ethernet.** Процесс передачи кадров на физическом уровне сети Ethernet производится в соответствии с требованиями стандарта [17]. Пример такого процесса представлен на рисунке 2.

В течение IPG происходит прослушивание среды передачи Ethernet. Если несущая частота (Carrier

Sense) не обнаружена, то сетевая карта имеет право начать передачу кадра. Сетевая карта 2 (рисунок 2) пыталась начать передачу, однако обнаружила, что среда занята и нужно ожидать ее освобождения. Сетевая карта 1 обнаружила, что среда свободна и начала передавать кадр. По окончании интервала IPG сетевые карты могут начать передачу своих кадров (на рисунке – сетевая карта 2).

Возможна ситуация, когда несколько сетевых карт одновременно решили, что среда свободна и начали передавать кадры, хотя чаще одна из сетевых карт начинает передачу раньше другой (сетевые карты 1 и 3), но из-за задержки распространения сигналов в среде они просто не успевают дойти до других сетевых карт, решив, что среда свободна, также начинают передачу.

Подобная ситуация приводит к так называемой коллизии (collision), когда сигналы разных сетевых карт сети сталкиваются и взаимно искажаются. Сетевая карта, обнаружившая коллизию первой, прерывает передачу своего кадра и усиливает ситуацию коллизии, посылая в сеть специальную последовательность, так называемую jam-последовательность (длительностью 32 бита). После этого сетевые карты, обнаружившие коллизию, прерывают передачу кадров и выдерживают случайную паузу:

$$N_{pi} = L I, \tag{11}$$

где  $I$  – интервал отсрочки размером 512 битовых интервалов,  $L$  – случайное целое число из диапазона  $[0, 2^N]$ , где  $N$  – номер повторной попытки передачи кадра (1, 2, ..., 10). После 10-й попытки диапазон не

увеличивается; если 16 последовательных попыток передать кадр вызвали коллизию, то сетевая карта должна прекратить попытки и отбросить этот кадр. Таким образом, случайная пауза  $L$  может составить от 0 до 524288 битовых интервалов. Если передающий узел не распознает коллизию, то кадр будет искажен и отброшен принимающей стороной (скорее всего из-за несовпадения контрольной суммы). Потерянный кадр будет впоследствии передан каким-либо протоколом верхнего уровня, однако это произойдет через значительно больший промежуток времени (иногда через несколько секунд) по сравнению с микросекундными интервалами Ethernet.

Из рисунка 2 видно, что вместо того чтобы передать  $i$ -й кадр сетевой картой 1 за период  $T_{нп,i}$ , он был передан за большее время  $T_{п,i}$  из-за появления «коллизии» в сети.

С учетом рисунка 2, анализируя задержки, возникающие при передаче кадра Ethernet, можно получить выражение для времени, затраченного на передачу  $i$ -го кадра:

$$T_{п,i}(t) = \frac{N_T + N_{изб}}{B} + \alpha T_{об.п} + \beta (T_{об.к} + \frac{N_{pi}}{B}), \quad (12)$$

где  $T_{об.п}$  – задержка, обусловленная передачей пакета другим пользователем;  $\alpha$  – случайное число задержек  $T_{об.п}$  в период передачи  $i$ -го пакета;  $T_{об.к}$  – задержка, обусловленная обнаружением «коллизии» в течение передачи  $i$ -го пакета;  $\beta$  – случайное число задержек  $T_{об.к}$  в период передачи  $i$ -го пакета.

Пусть  $T_{об.п}$  и  $T_{об.к}$  принимают следующие значения:

$$T_{об.п} = \frac{N_T + N_{изб}}{B}; \quad (13)$$

$$T_{об.к} = \frac{N_T + N_{изб} + N_{IPG}}{B}. \quad (14)$$

С учетом (11), (13) и (14) величина  $T_{п,i}$  будет:

$$T_{п,i}(t) = \frac{N_T + N_{изб}}{B} + \alpha \frac{N_T + N_{изб}}{B} + \beta \frac{N_T + N_{изб} - N_{IPG} + I 2^\beta}{B}. \quad (15)$$

**Возможные задержки передачи сегмента протокола TCP на транспортном уровне.** Транспортный протокол TCP [18] совместим с протоколом прикладного уровня FTP.

На рисунке 3 представлены временные диаграммы на стороне пользователя и сервера для входящего потока (download). Показан процесс доставки сегментов протокола TCP алгоритмом «скользящего» окна.

Процесс передачи сегментов по протоколу TCP производится путем непрерывной передачи сегментов в течение окна получателя ( $T_{win}$ ) и приема ответных сигналов (АСК). Прием сигнала АСК свидетельствует о безошибочном приеме сегмента.

Размер окна  $win$  в байтах выбирается исходя из неравенства

$$T_{win} > T_{RTT} \times B, \quad (16)$$

где  $T_{RTT}$  – время оборота, равное задержке передачи сигнала управления туда и обратно.

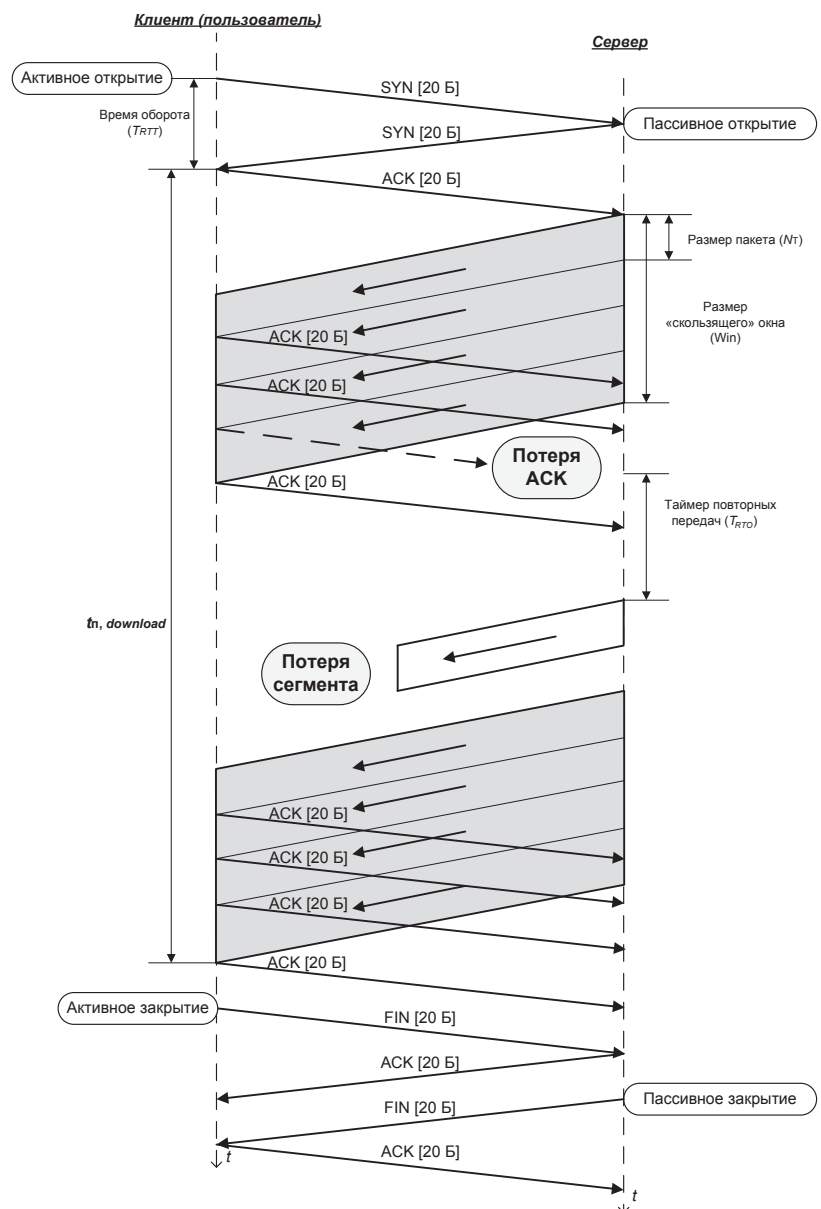


Рисунок 3

С учетом рисунка 3 величина  $T_{RTT}$  равна

$$T_{RTT} = T_{SYN} + T_{SYN} + 2\tau_3, \quad (17)$$

где  $T_{SYN}$  – длительность сигналов управления, размером 20 байт;  $\tau_3$  – односторонняя пространственная задержка.

Таймер повторных передач ( $T_{RTO}$ ) выбирается согласно [18]:

$$T_{RTO} = 2 \overline{T_{RTT}}, \quad (18)$$

где  $\overline{T_{RTT}}$  – результат очередного измерения времени оборота (17).

Задержка передачи пакетов может быть вызвана различными событиями, такими как потеря самого пакета данных, запоздалый ответ АСК, потеря АСК. Все это приводит к тайм-ауту и повторной передаче неприятого пакета.

Анализируя процесс передачи сегментов (рисунок 3), можно рассчитать время, затраченное на передачу тестового информационного файла во входящем потоке данных:

$$T_{п(down)} = T_{ACK} + T_{RTT} + \sum_{i=1}^{k+1} T_{пф,i} t + (k+1) \cdot T_{ACK} + a \cdot T_{RTO} + b \cdot T_{ож,АСК}, \quad (19)$$

где  $a$  – число повторов передачи сегмента при потере сегмента;  $b$  – число потерь сигнала АСК;  $T_{ож,АСК}$  – длительность таймера ожидания сигнала АСК.

С учетом принятых выражений (15)–(19) можно рассчитать достигаемую скорость передачи входящего потока данных (2).

Вычисление скорости передачи на физическом уровне  $C_{PY}$  производится по формуле

$$C_{PY} = \frac{(k+1)(N_T + N_{изб} + N_{ACK}) - N_0 + N_{SYN}}{T_{п(down)}}. \quad (20)$$

Разность между величинами  $C_d$  и  $C_{PY}$  можно вычислить, сравнивая выражения (2) и (20). С учетом размеров заголовков (10) выражение может быть переписано:

$$C_{PY(down)} = C_{д(down)} + \frac{(k+1)(N_{изб} + N_{ACK}) - N_0 + N_{SYN}}{T_{п(down)}}. \quad (21)$$

Таким образом, с помощью выражения (21) можно рассчитать скорость передачи на физическом уровне, зная измеренное значение  $C_{д(down)}$ .

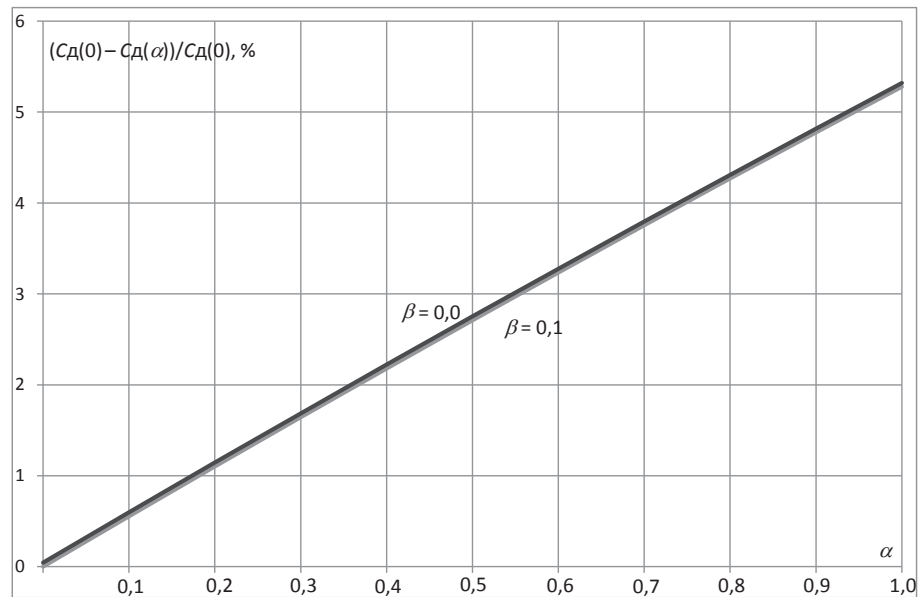


Рисунок 4

**Практический пример расчета.** Рассмотрим практическое применение полученных выражений для оценки границ интервала неопределенности.

Принимая во внимание требования Приложения В [8], пусть размер сегмента  $N_T = 1400$  байта или 11200 бита. Задержка АСК до 200 мс. Скорость передачи на канальном уровне  $B = 100$  Мбит/с. С учетом выбранной скорости  $B$  длительности сигналов управления на физическом и транспортном уровнях будут:

$$\begin{aligned} T_{ACK} &= 20 \cdot 8 / B = 1,6 \text{ мкс;} \\ T_{RTT} &= 0,0200032 \text{ с;} \\ T_{RTO} &= 0,0400064 \text{ с;} \\ T_{ож,АСК} &= 200 \text{ мс;} \\ N_{изб} &= 552 \text{ бит;} \\ T_{IPG} &= 0,96 \text{ мкс.} \end{aligned}$$

Подставляя эти значения в (19), получим:

$$\begin{aligned} T_{п(down)} &= 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot (2 + k) + 803,2 \cdot 10^{-6} + \\ &+ (k+1) \cdot (1 + \alpha + \beta) \cdot 0,11818 + \\ &+ \beta \cdot (k+1) \cdot \frac{512 \cdot 2^{\beta(k+1)} - 96}{10^8} + \\ &+ a \cdot 1606,4 \cdot 10^{-6} + b \cdot 0,2. \end{aligned} \quad (22)$$

Рассчитанное значение (22) подставляем в выражение (2) и находим зависимость от параметров моделирования  $\alpha, \beta, a, b$ .

Например, при  $(k+1) = 10$  входящая достигнутая скорость передачи  $C_{д(down)}$  будет:

- 5 282 371 бит/с – для параметров  $\alpha = \beta = a = b = 0$ ;
- 1 829 796 бит/с – для  $\alpha = \beta = 0, a = 1, b = 0$ ;

- 506 323 бит/с – для  $\alpha = \beta = 0, a = 0, b = 1$ ;
- 428 775 бит/с – для  $\alpha = \beta = 0, a = 1, b = 1$ .

Результаты расчета показывают влияние мешающих факторов протокола TCP, таких как  $a$  (число повторов передачи сегмента при потере сегмента) и  $b$  (число потерь сигнала АСК). Разница между этими значениями позволяет оценить границы неопределенности результатов измерений.

Зависимость величины

$$\frac{C_d(0) - C_d(\alpha)}{C_d(0)} \cdot 100 \%$$

от параметров  $\alpha$  и  $\beta$  можно увидеть на рисунке 4, из которого следует, что с увеличением  $a$  до 1,0 интервал неопределенности расширяется до 5,5 %. В этом случае в соответствии с (9)  $U_1 = U_2 = \pm 0,055C_d$ .

**Выводы.** 1. Подробное описание термина «достигнутая скорость передачи данных», условия для измерения, а также полученная зависимость от скорости передачи на физическом уровне позволяют сравнить полученные результаты измерений между различными предлагаемыми в интернете программами измерений.

2. Полученные математические выражения и анализ влияния задержек на физическом (канальном) и транспортном уровнях позволяют смоделировать процесс передачи данных в интернет-соединении, оценить границы интервала неопределенности результата измерения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Язловецкий, Я.С. Измерение скорости передачи данных при оказании услуги доступа в сеть интернет / Я.С. Язловецкий // Веснік сувязі. – 2013. – № 6 (122). – С. 29–34.
2. Измерение скорости. – Режим доступа: <http://911dc.ru/index.php/internet/diagnostika/skorost-chast-2> – Дата доступа: 30.06.2014.
3. Тест измерения скорости на сайте 911dc.ru. – Режим доступа: <http://911dc.ru/index.php/internet/diagnostika/20-test-izmeritelej-skorosti> – Дата доступа: 30.06.2014.
4. Пакеты услуг на сайте «beltelecom.by». – Режим доступа: <http://beltelecom.by/pakety-uslug> – Дата доступа: 30.06.2014.
5. Тег «Тарифный план» на сайте «providers.by». – Режим доступа: <http://providers.by/flag/tarifnyj-plan/> – Дата доступа 30.06.2014.
6. Тарифные планы ООО «Деловой сети». – Режим доступа: <http://bn.by/about/news/0000611/>. – Дата доступа: 30.06.2014.
7. OSI International Telecommunication Union. SERIES X: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS X.200 (11/93): Open Systems Interconnection – Basic Reference Model.
8. ETSI EG 202 057-4 v1.2.1 (2008-07) Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access.
9. ETSI TS 102 250-2 v2.2.1 (2011-04) Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation.
10. FTP FILE TRANSFER PROTOCOL (FTP): RFC 959. 1985 – Mode of access: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1959.txt>. Data of access: 02.06.2014.
11. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. МИ 2083-90. – М.: Комитет стандартизации и метрологии ССР, 1991.
12. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
13. РМГ 43-2001 Рекомендации по Межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». – Минск. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
14. Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и их характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. МИ 1317-86. – М.: Изд-во стандартов, 1986.
15. Измерение качественных показателей услуг передачи данных. – Режим доступа: [www.gos.by](http://www.gos.by) – Дата доступа 30.06.2014.
16. Международный союз электросвязи. СЕРИЯ О: ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЕ. Аппаратура для проведения измерений в IP сетях. Рекомендация O.211 (01/2006): Испытательная и измерительная аппаратура для проведения испытаний на уровне IP.
17. IEEE Std 802.3-2008, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements. Part 3: Carrier sense multiple access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
18. TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL. DARPA INTERNET PROGRAM. PROTOCOL SPECIFICATION: RFC 793. 1981 - Mode of access: <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc793.txt> Data of access: 02.06.2014.