

УДК 004.057.3

В. В. Яковлев, Ф. И. КушназаровПетербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ПРОТОКОЛОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ**

При разработке методик оценки производительности протоколов канального уровня предполагалась изоляция каналов передачи данных от различных помех. В данной работе учтены влияние помех повторной передачи кадра в канале и зависимость размера кадра на вероятность появления ошибки в кадрах и число попыток до успешной передачи кадра. Рассмотрены математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра, зависимость реальной производительности указанных протоколов в условиях действия помех для различных технологий доступа в моноканал.

протоколы канального уровня, производительность, реальная скорость канала, утилизация канала, помехи, компьютерные сети.

Введение

В компьютерных сетях различного назначения, особенно в промышленных сетях на надежность доставки сообщения значительно влияют разнообразные помехи (атмосферные, промышленные, организованные, перекрестные и др.).

**1 Подходы к оценке
производительности
протоколов канального
уровня****1.1 Традиционные подходы**

Традиционные подходы к оценке производительности протоколов канального уровня основаны на учете таких показателей, как максимальная пропускная способность сети, влияние номинальной пропускной способности, влияние длины информационного кадра, влияние номинального времени доступа к среде [1].

1.2 Утилизация канала

Введено понятие утилизации канала, учитывающие временные издержки [2]. Утилизация канала U представляет собой отношение

$$U = \frac{T_F}{T_F + T_{ACK}},$$

где T_F – время передачи кадра (фрейма) по каналу; T_{ACK} – время доставки подтверждения от приемника к передатчику.

Заметим, что адрес назначения в поле кадра имеет локальный смысл для данной сети и не изменяется при прохождении кадра от узла источника к узлу назначения. Возможность передавать данные между локальными сетями разных технологий связана с тем, что в большинстве случаев в этих технологиях используются адреса одинакового формата, к тому же производители сетевых адаптеров обеспечивают уникальность адресов независимо от технологии.

В других работах, например [3], авторы при оценке производительности протоколов канального уровня обращают внимание на метод доступа к среде передачи, режим доступа, влияние аппаратных составляющих (размер буфера, скорость обработки кадра, производительность процессора в коммуникационных устройствах и пр.).

Рассмотрим функционирование протоколов канального уровня применительно к связям типа «точка – точка», когда протокол ответствен за доставку кадра непосредственному соседу. В этом случае на первый план выходит способность протокола восстанавливать искаженные и утерянные кадры, так как плохое качество территориальных каналов, особенно коммутируемых телефонных, беспроводных и спутниковых, часто требует выполнения подобных действий.

2 Влияние помех на повторной отправке кадров в канале

Оценим влияние помех на производительность рассматриваемых протоколов. В отсутствие помех, например, для технологии Ethernet, с номинальной скоростью передачи данных 10 Мб/с при передаче кадра размером 10^3 бит информация передается от отправителя к получателю за 10^{-4} с. В случае регистрируемой получателем ошибки в кадре отправителю направляется запрос на повторную передачу кадра, и если кадр будет успешно передан на этой попытке, то время отправки составит уже не 10^{-4} с, а вдвое больше. Если таких попыток совершается k раз, то, соответственно, время доставки составит $k \cdot 10^{-4}$ с.

Вероятность успешной передачи кадра в i -й попытке

$$q_i = 1 - q^i,$$

где q – вероятность искажение кадра; $q = 1 - (1 - e)^N$; N – длина кадра в битах; e – вероятность битовых ошибок в канале.

Определим число попыток повторной передачи кадра, на котором достигается заданная вероятность его успешной передачи:

$$P_{\text{зад}} = 1 - q^i,$$

откуда

$$m = \frac{\lg(1 - P_{\text{зад}})}{\lg q}.$$

Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра (рис. 1)

$$M(i) = \sum_{i=1}^{\infty} p_i \cdot i,$$

где i – номер попытки; p_i – вероятность доставки неискаженного кадра на i -й попытке; p – вероятность доставки неискаженного кадра, $p = 1 - q$.

$$M(i) = \frac{p}{(1 - q)^2} = \frac{1}{p}, \quad (1)$$

что определяет жесткую зависимость производительности протокола от уровня помех в канале.

На рис. 1 и по расчетам формулы (1) видно, что при $e = 10^{-3}$ с увеличением размера кадра количество повторов увеличивается до 5. При $e = 10^{-6}$ количество повторов кадра – до 2. Если в расчетах принимать канал с $e = 10^{-2}$, то количество повторов резко увеличивается: с размера 500 байт их число превышает сотню.

3 Реальная скорость канала передачи данных на канальном уровне

В условиях зашумленности канала для оценки времени передачи N бит введем реальную скорость передачи данных – V . Она зависит от таких параметров, как N (бит) – длина кадра; C (бит) – число проверочных

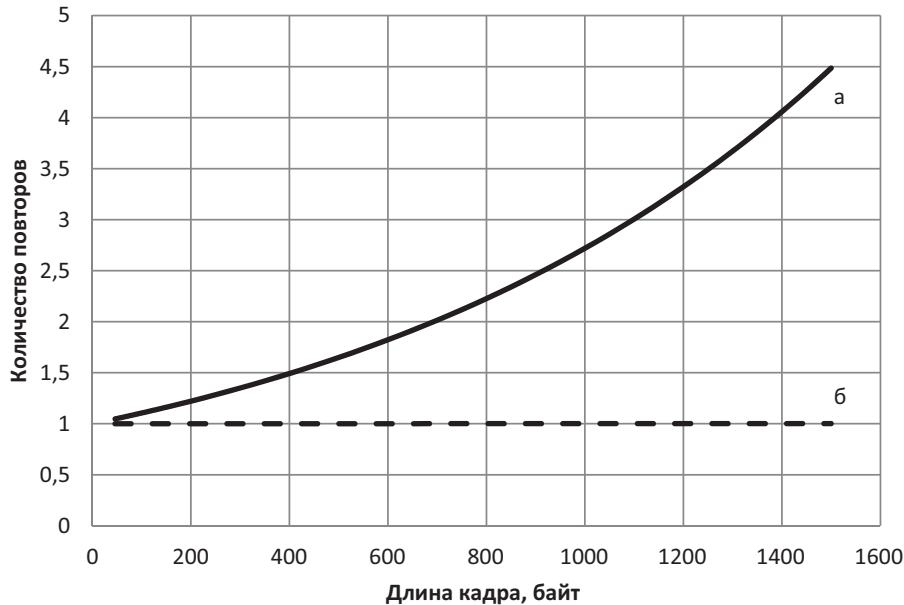


Рис. 1. Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра при $e = 10^{-3}$ (а) и $e = 10^{-6}$ (б)

битов в кадре; R (бит/с) – номинальная скорость канала; D (секунд) – задержка АСК; АСК (Acknowledgment) – положительная квитанция о получении безошибочного кадра в сети от получателя сообщения к отправителю. В данной статье в расчетах пренебрегаем задержкой на распространение сигнала в передающей среде.

T – время передачи кадра (исключая АСК)

$$T = D + \frac{N}{R};$$

V – реальная скорость передачи данных:

$$V = \frac{N-C}{T} \cdot p = \frac{N-C}{N+DR} \cdot R \cdot p = \frac{1-\frac{C}{N}}{1+R\frac{D}{N}} \cdot R \cdot p. \quad (2)$$

Рассмотрим приложение данного соотношения к работе реальных протоколов, работающих на канальном уровне.

Для нахождения оптимума определим производную функции (2) по N и приравняем ее к нулю:

$$V'_N = R \times \left(\frac{((1-e)^N + (N-C) \cdot (1-e)^N \times \times \text{Ln}(1-e)) \cdot (N+RD) - (N-C)(1-e)^N}{(N+R \cdot D)^2} \right);$$

$$R \cdot \left(\frac{((1-e)^N + (N-C) \cdot (1-e)^N \times \times \text{Ln}(1-e)) \cdot (N+RD) - (N-C)(1-e)^N}{(N+R \cdot D)^2} \right) = 0.$$

После преобразования получаем:

$$N^2 + N \cdot R \cdot D - N \cdot C - R \cdot D \cdot C + \frac{R \cdot D + C}{\text{Ln}(1-e)} = 0,$$

откуда

$$N_{1,2} = \frac{-(R \cdot D - C) \pm \sqrt{R^2 \cdot D^2 + 6 \cdot R \cdot D \cdot C + C^2 - 4 \cdot \frac{R \cdot D + C}{\text{Ln}(1-e)}}}{2}. \quad (3)$$

Для технологии Ethernet, варьируя размер кадров (рис. 2) и используя формулу (3), можем найти оптимум при $N = 161$ байт и при вероятности появления битовых ошибок в канале $e = 10^{-3}$. При $e < 10^{-3}$ оптимум находится вне пределов минимального размера кадра технологии Ethernet, а при $e < 10^{-6}$ перевешивает допустимый максимальный размер кадра.

Остальные параметры в выражении (2) определены так:

$C = 32$ бита, $R = 10$ Мб/с, $D = 0,32 \cdot 10^{-5}$ с. Для технологии Frame Relay, где $C = 16$ бит по формуле (3), определяем оптимальное значение $N = 1051$ байт при $e = 10^{-4}$. Для других значений реальная скорость канала соответствует графикам на рис. 3. При этом $R = 34$ Мб/с, $D = 0,47 \cdot 10^{-6}$ с.

Аналогичный расчет для технологии Token Ring дает оптимум $N = 600$ байт при $e = 10^{-4}$ и $C = 32$ бита. На рис. 4 показаны зависимо-

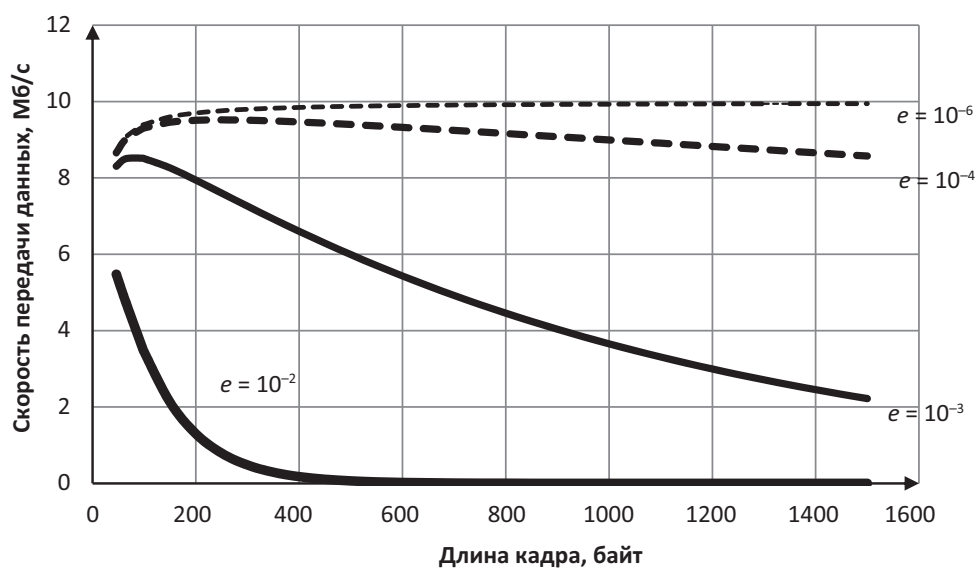


Рис. 2. Реальная скорость канала в Ethernet в зависимости от размера кадра для разных значений e

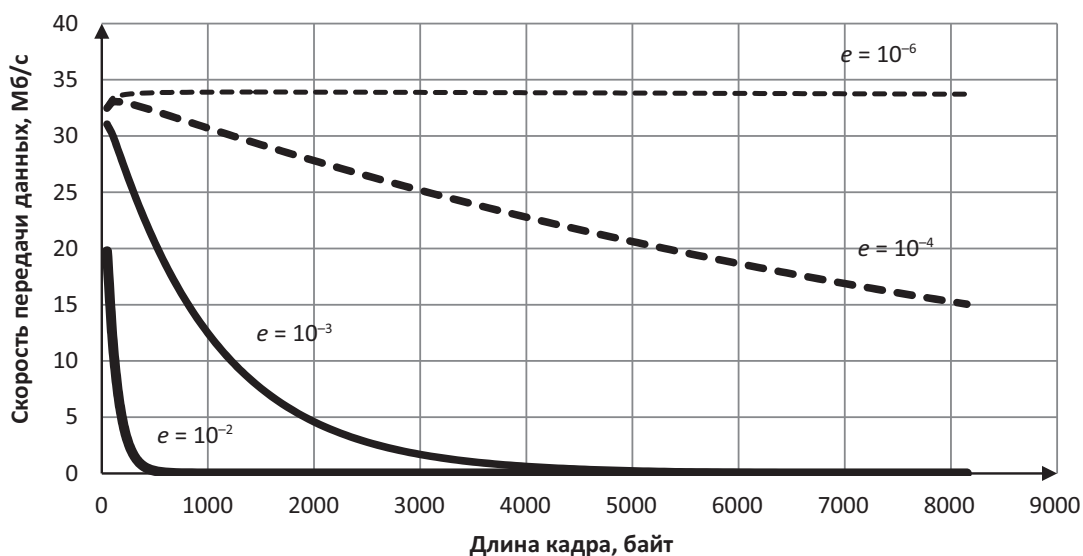


Рис. 3. Реальная скорость канала в Frame Relay в зависимости от размера кадра для разных значений e

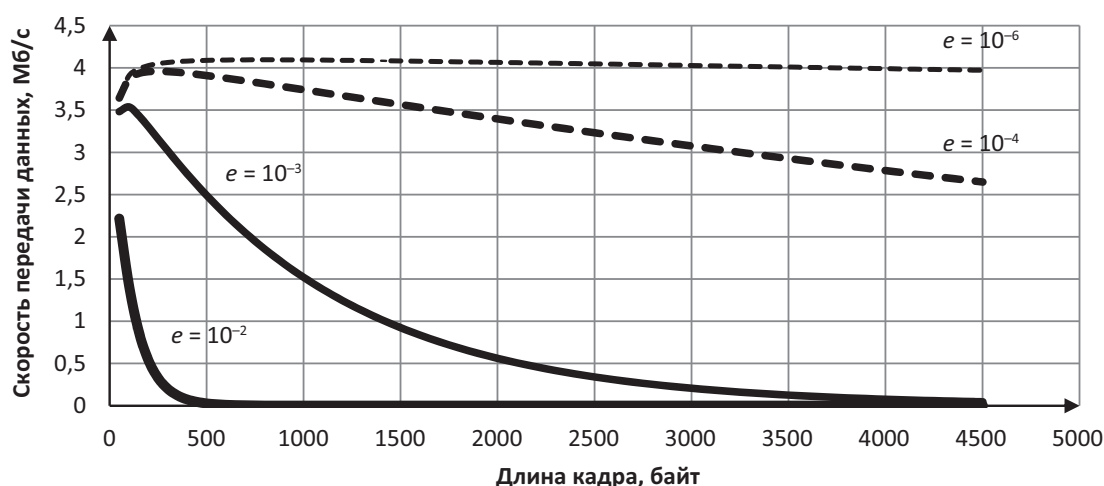


Рис. 4. Реальная скорость канала в Token Ring в зависимости от размера кадра для разных значений e

сти параметра V при различных значениях e и $R = 4,16$ Мб/с, $D = 0,32 \cdot 10^{-5}$ с.

Для технологии 802.11b, где $C = 32$ бит по формуле (3), определяем оптимальное значение $N = 250$ байт при $e = 10^{-4}$. Для других значений реальная скорость канала соответствует графикам на рис. 5. При этом $R = 54$ Мб/с, $D = 0,47 \cdot 10^{-6}$ с.

Следовательно, при настройках протоколов канального уровня необходимо выбирать формат кадра с учетом уровня зашумленности канала.

Заключение

Из расчетов и графиков, представленных на рис. 2–5, видно, что в зашумленных каналах ($e > 10^{-4}$), изменяя размер кадра, можно достичь максимальной реальной скорости канала во всех рассмотренных технологиях до значений $N < 1000$ байта. В каналах с низким уровнем помех ($e < 10^{-6}$) реальная скорость канала с увеличением размера кадра не уменьшается, но в каждой технологии есть ограничение по размеру кадра. В связи с этим в

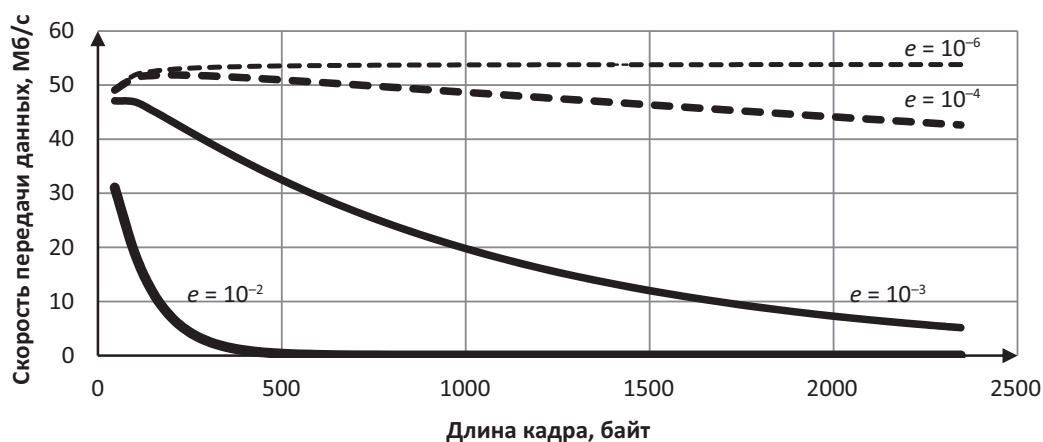


Рис. 5. Реальная скорость канала в 802.11b в зависимости от размера кадра для разных значений e

хороших каналах, где $e \geq 10^{-6}$, размер кадра можно взять ближе к максимальному, установленному стандартом. В зашумленных каналах $e \leq 10^{-3}$ целесообразно выбирать формат кадра в зависимости от технологии из диапазона 200–1000 байт.

Библиографический список

1. **Оценка** производительности вычислительного комплекса информационно-измерительной и управляющей системы специального назначения :

дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / Н. А. Баштанник. – Астрахань, 2010. – 176 с.

2. **Halsall F.** Data Communications, Computer Networks and Open Systems. – Addison-Wesley, 1996. – 907 p.

3. **Компьютерные сети.** Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2008. – 958 с.

4. **Вероятностные** методы в вычислительной технике / А. В. Крайников, Б. А. Курдинов, А. Н. Лебедев и др. ; под ред. А. Н. Лебедева, Е. А. Чернявского. – М. : Высш. шк., 1986.