

УДК 004.057.3

**В. В. Яковлев, Ф. И. Кушназаров**Петербургский 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

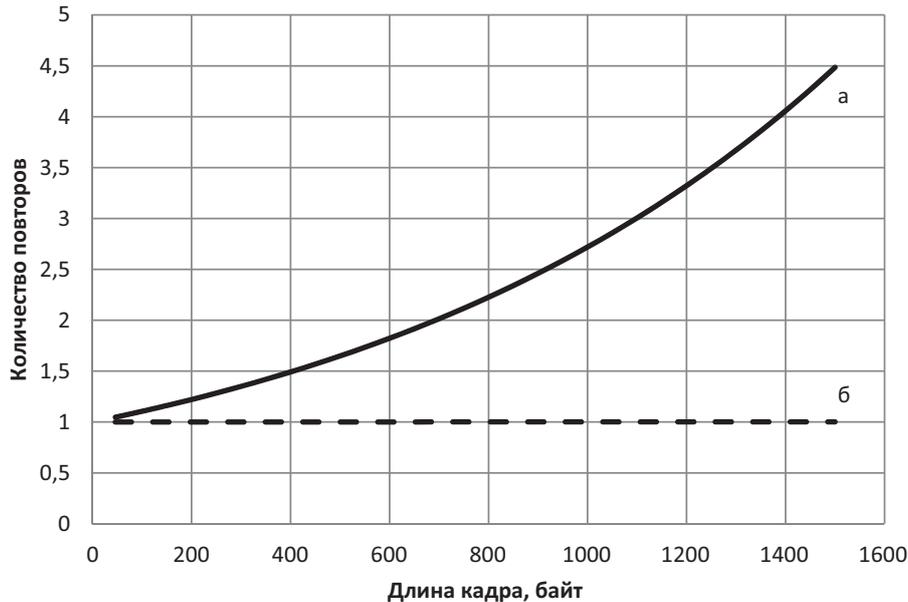


Рис. 1. Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки кадра при  $e = 10^{-3}$  (а) и  $e = 10^{-6}$  (б)

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-

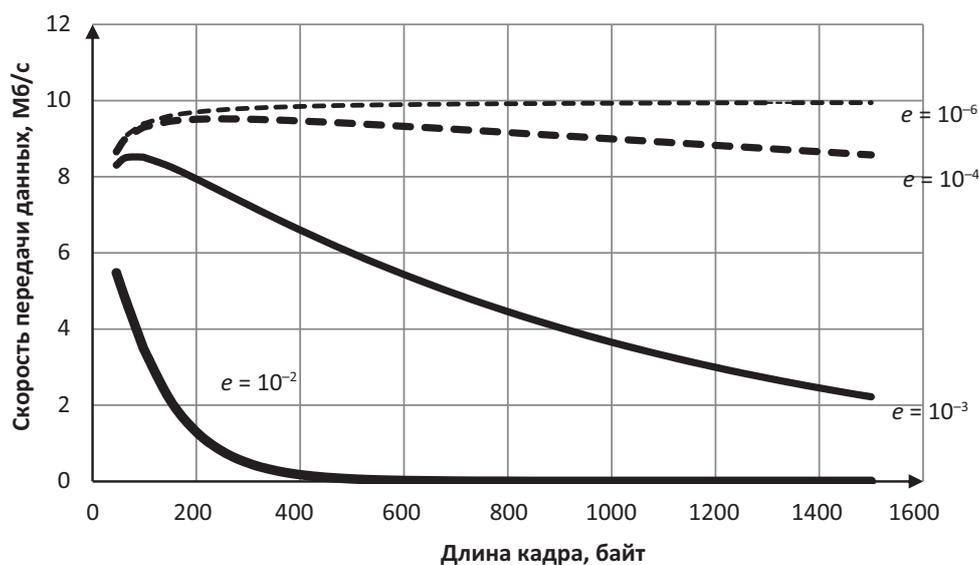


Рис. 2. Реальная скорость канала в Ethernet в зависимости от размера кадра для разных значений  $e$

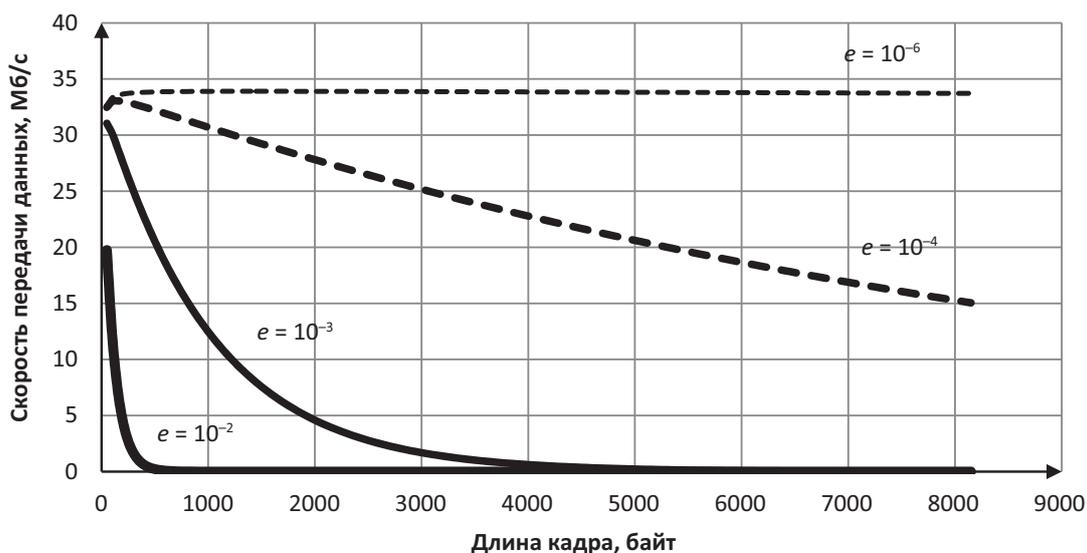


Рис. 3. Реальная скорость канала в Frame Relay в зависимости от размера кадра для разных значений  $e$

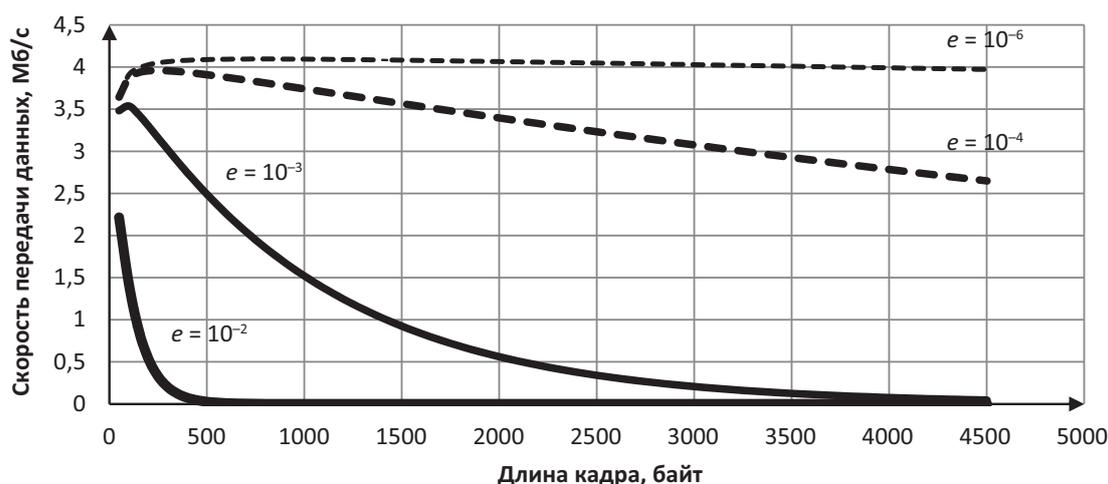


Рис. 4. Реальная скорость канала в Token Ring в зависимости от размера кадра для разных значений  $e$

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

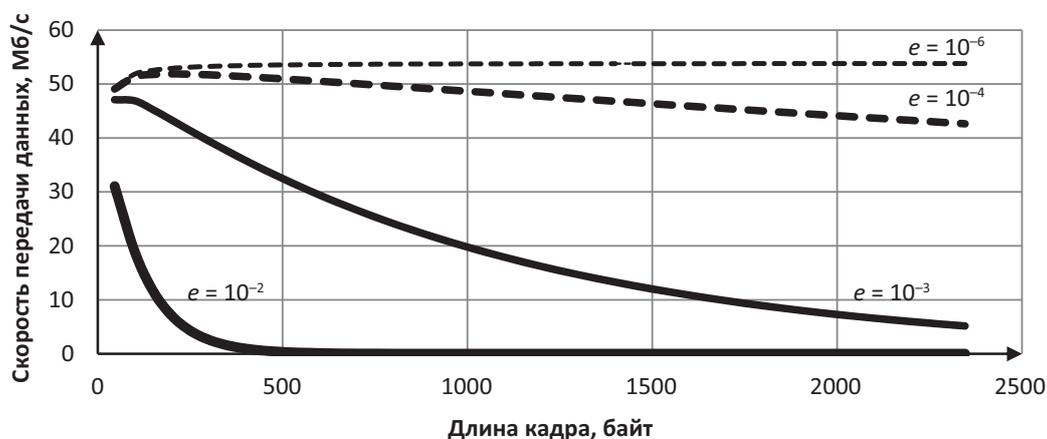


Рис. 5. Реальная скорость канала в 802.11b в зависимости от размера кадра для разных значений  $e$

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.