

ОЦЕНКА ТРАНСПОРТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТЕЙ

к.т.н. И.В. Рубан, Д.В. Сумцов
(представил: проф. А.В. Королев)

Рассмотрена математическая модель оценки вероятностных и временных характеристик доставки кадров для канала с независимыми ошибками. Приведены результаты расчетов для сетей, функционирующих на основе протокола X.25.

Существующие в настоящее время протоколы корпоративных вычислительных сетей, такие как ATM и Frame Relay, ориентированы в основном на каналы передачи данных высокого качества (широкополосные цифровые каналы на основе оптоволоконных кабелей) [4]. Однако, из-за высокой стоимости прокладки новых линий связи еще долгое время, особенно в Украине, реальную альтернативу будет представлять удаленный доступ к ресурсам корпоративной вычислительной сети по коммутируемым аналоговым линиям. Широкое применение в последнее время получает также передача цифровых данных по радиоканалам.

В пользовательских сетях ни один из существующих протоколов не гарантирует в полной мере качества обслуживания, заказываемого пользователем. Это не имеет большого значения и не приводит к значительным последствиям. Однако, существуют специализированные сети, например, в АСУ энергетическим комплексом, АСУ железнодорожным транспортом, АСУ авиацией, АСУ космическими полетами, банковские сети и т.д., в которых предъявляется высокий уровень требований к достоверности передаваемой информации [3, 6].

Коммутируемые аналоговые линии и радиоканалы характеризуются высоким уровнем ошибок в канале. Вероятность однократной ошибки в них составляет: для радиоканалов – 10^{-2} , для радиорелейных каналов – 10^{-4} - 10^{-3} , для проводных каналов – 10^{-6} - 10^{-4} [2, 3]. Поэтому в таких каналах необходимо применение методов защиты от ошибок, таких как корректирующие коды и повторная передача искаженных данных. Эти методы реализованы в сетях X.25.

Оценим качество функционирования транспортной подсети корпоративной вычислительной сети. В качестве показателя эффективности передачи данных на канальном уровне выберем вероятность доставки кадра $P_{\text{дост}}$.

Функции контроля правильности доставки и восстановления искаженных данных возлагаются на канальный уровень стека протоколов X.25, на котором используется протокол сбалансированного доступа к звену LAP-B,

являющийся подмножеством сверхмножества HDLC.

Протокол LAP-B использует для формирования контрольных разрядов производящий полином циклического кода CRC-16, который определен рекомендацией МККТТ V.41 и имеет вид $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Так как степень полинома равна 16, то число контрольных разрядов кадра также равно 16. Циклический код с использованием полинома CRC-16 позволяет обнаруживать всевозможные кортежи ошибок кратности до 16 включительно, вызываемые одиночной ошибкой, а также $k = (1 - 1/2^r) \cdot 100\%$ всевозможных более длинных кортежей ошибок, где r – степень производящего полинома. Для CRC-16 это число составляет 99.999847412% [2, 5, 7].

В качестве модели выберем канал передачи данных с независимыми ошибками. Вероятность однократной независимой ошибки (вероятность искажения одного бита) равна P_0 . Тогда $1 - P_0$ – вероятность того, что бит при передаче по каналу не будет искажен. Вероятность правильной доставки (отсутствия ошибок) кадра длиной n бит $P_{\text{дост}} = (1 - P_0)^n$.

При использовании для обнаружения ошибок циклических кодов возможны следующие варианты (рис. 1):

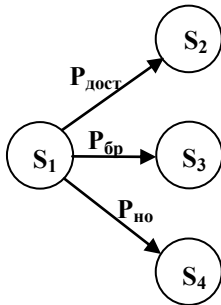


Рис.1. Граф состояний при передаче кадра

S_1 – передача кадра;

S_2 – передача без ошибок;

S_3 – ошибка в полученном кадре обнаружена циклическим кодом на приемной стороне;

S_4 – ошибка в полученном кадре не обнаружена циклическим кодом на приемной стороне.

Состояние S_1 соответствует передаче кадра в канал. После получения кадра узлом-получателем происходит проверка правильности передачи и при отсутствии ошибок (состояние S_2) принимается решение о правильности

полученного кадра. Этому соответствует вероятность $P_{\text{дост}}$. При наличии ошибки хотя бы в одном бите кадра ошибка может быть обнаружена и кадр бракуется (состояние S_3). Этому соответствует вероятность $P_{\text{бр}}$. Если же ошибка не обнаруживается, принимается решение о правильности полученного искаженного кадра (состояние S_4). Этому соответствует вероятность $P_{\text{но}}$.

Очевидно, что события S_2, S_3, S_4 составляют полную группу событий, т.е.

$$P_{\text{дост}} + P_{\text{бр}} + P_{\text{но}} = 1.$$

Вероятность браковки кадра равна вероятности того, что произойдет любая возможная комбинация ошибок от 1 до 16 плюс вероятность того, что произойдет любая возможная комбинация ошибок от 17 до n с весовым коэффициентом k , т.е.

$$P_{\text{обр}} = \sum_{i=1}^{16} C_n^i \cdot P_0^i \cdot (1 - P_0)^{n-i} + (1 - \frac{1}{2^r}) \sum_{i=17}^n C_n^i \cdot P_0^i \cdot (1 - P_0)^{n-i},$$

где n – длина кадра, бит.

Вероятность необнаружения ошибки равна

$$P_{\text{но}} = \frac{1}{2^r} \cdot \sum_{i=17}^n C_n^i \cdot P_0^i \cdot (1 - P_0)^{n-i}.$$

Тогда вероятность доставки равна

$$P_{\text{дост}} = 1 - \sum_{i=1}^n C_n^i \cdot P_0^i \cdot (1 - P_0)^{n-i}.$$

Время доставки кадра $T_{\text{дост}}$ равно

$$T_{\text{дост}} = \frac{n}{V},$$

где V – скорость передачи данных, бит/с.

Относительная скорость передачи R определяется долей информационных разрядов в кадре и равна

$$R = \frac{L}{n},$$

где L – число информационных разрядов в кадре (длина инкапсулируемого пакета сетевого (пакетного) уровня) [1].

В ходе работы был проведен расчет для значений вероятности ошибки $P_0 = 0,001$, пропускной способности $V = 9600$ бит/с, длин кадров 160, 288, 544, 1056, 2080, 4128, 8224, 16416 и 32800 бит, являющимися стандартными размерами кадров LAP-B при нормальном (по модулю 8) режиме нумерации кадров ([3]). Результаты расчетов приведены в табл. 1.

По результатам исследований можно сделать вывод, что при низком качестве канала передачи данных вероятность доставки кадра $P_{\text{дост}}$ принимает значение в пределах от $5,6 \cdot 10^{-15}$ до 0,85208 в зависимости от длины кадра и является неприемлемо низкой для систем с высоким уровнем требований к достоверности передаваемой информации, где вероятность доставки кадра $P_{\text{дост}}$ должна быть близка к единице. В таких сетях, как вычислительные сети АСУ энергетическим комплексом, АСУ железнодорожным транспортом, АСУ авиацией, АСУ космическими полетами, банковские сети и т.д., потеря одного кадра может привести к непредсказуемым последствиям, и поэтому является крайне нежелательной. Как следствие, возникает необходимость разработки новых алгоритмов обработки и передачи информации с использованием методов повышения надежности ее доставки в транспортных подсетях вычислительных сетей АСУ.

Таблица 1

Значения транспортных характеристик сетей,
функционирующих на основе протокола X.25

№ п/п	Информационные и каналные параметры				Транспортные характеристики сетей X.25		
	Длина кадра n , бит	Число информаци- онных бит L	Вероятность однократной ошибки P_0	Скорость пере- дачи данных V , бит/с	Вероятность доставки кадра $P_{дост}$	Время доставки пакета $T_{дост}$, с	Относительная скорость пере- дачи R
1	160	128	0,001	9600	0,85208	0,01667	0,80000
2	288	256	0,001	9600	0,74965	0,03000	0,88889
3	544	512	0,001	9600	0,58026	0,05667	0,94118
4	1056	1024	0,001	9600	0,34766	0,11000	0,96970
5	2080	2048	0,001	9600	0,12480	0,21667	0,98462
6	4128	4096	0,001	9600	0,01608	0,43000	0,14175
7	8224	8192	0,001	9600	0,00027	0,85667	0,99611
8	16416	16384	0,001	9600	0,00000007	1,71000	0,99805
9	32800	32768	0,001	9600	0,0000000000000056	3,41667	0,99902

ЛИТЕРАТУРА

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
2. Воронин А.А., Ростовцев Ю.Г., Цибрин В.Г. Основы построения систем передачи данных: Учебник. – Л.: ВИКИ им. Можайского, 1978. – 419 с.
3. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / Олифер В.Г., Олифер Н.А. – С. - Пб.: Питер, 1999. – 672 с.
4. Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. – С. - Пб.: Питер, 2000. – 704 с.
5. Дженнингс Ф. Практическая передача данных: модемы, сети и протоколы. – М.: Мир, 1989. – 272 с.
6. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник / Гудыно Л.П., Кириченко А.А.; под ред. А.П. Пятибратова – М.: Финансы и статистика, 2001. – 512 с.
7. Блэк Ю. Сети ЭВМ: протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. – 506 с.

Поступила в редколлегию 17.04.2001