

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВТОРНЫХ ПЕРЕДАЧ В КАНАЛАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОМЕХ

MODEL OF REPEATED CHANNEL TRANSMISSION, AGAINST INTERFERENCE

F. Kushnazarov

Annotation

In data networks struggle with errors is an integral part for the integrity of the data. Some of the ways to reduce errors in the transmission channel are such methods of data transmission, as a stop with the expectation, return to N steps and a selective choice. The above methods of data transmission enable evaluation of the data link layer protocols developed under the influence of data channels of interference of various nature. the influence of interference in the retransmission of the channel, the channel length and the dependence on the size of the frame error probability in the frame as well as number of attempts before successful transmission were taken into account. Existing estimation procedure performance of data-link protocols were designed assuming the absence of effects on interference data channels of different natures . influence of interference in the retransmission of the channel and frame size dependent on the probability of error frames, the number of successful attempts to transmit a frame were taken into account. The mathematical expectation of the number of attempts until the first successful delivery of the frame, the dependence of the real performance of the protocols under conditions of interference for different access technologies in monochannel were considered thoroughly.

Keywords: data channel, error handling, performance, the actual speed of the channel interference, stop with the expectation return on N steps, selective choice, computer networks.

Кушназаров Фаррух Исакулович
Стажер,
Петербургский государственный
университет путей сообщения

Аннотация

В сетях передачи данных борьба с ошибками является неотъемлемой частью для целостности передачи данных. Одними из способов уменьшения ошибок в канале передачи данных являются методы передачи данных, например, такие как остановка с ожиданием, возврат на N шагов и селективный выбор. Рассмотренные методы передачи данных дают возможность оценки работы протоколов канального уровня, разработанных при воздействии помех различной природы на каналы передачи данных. Учтены влияние помех повторной передачи кадра в канале, длина канала и зависимость размера кадра на вероятность появления ошибки в кадрах, а также число попыток до успешной передачи кадра. Существующие методики оценки производительности протоколов канального уровня разработаны в предположении отсутствия воздействия помех на каналы передачи данных. 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.

Ключевые слова:

Канал передачи данных, управление ошибками, производительность, реальная скорость канала, помехи, остановка с ожиданием, возврат на N шагов, селективный выбор, компьютерные сети.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие коммуникационных сетей в современном мире идет не только по проводным, но также и по беспроводным каналам. В настоящее время имеется целый ряд беспроводных решений, таких как оборудование радиодоступа, радиорелейные станции и атмосферные оптические линии связи.

Современный этап развития вычислительных сетей характеризуется взрывным ускорением процессов взаимной конвергенции, которые проходят в каждой из отмеченных ранее специализированных инфраструктур. Границы, еще недавно казавшиеся незыблемыми, размываются, и на смену прежним специализированным сетям с ограниченными функциями приходят новые гиб-

ридные мультисервисные инфраструктуры со значительно более широким перечнем предоставляемых услуг.

При разработке высокоскоростных обычных и объединенных сетей важно осознавать влияние методов управления потоком и контроля ошибок на производительность. Эти методы реализуются на уровне передачи данных в некоторых протоколах сетевого уровня, например X.25, на транспортном уровне и в некоторых протоколах прикладного уровня.

Моделирование производительности методов управления потоком и контроля ошибок – исключительно сложная задача. Простейший случай заключается в использовании управляющего канального протокола, работающего между двумя устройствами, соединенными

двухточечным соединением. Здесь нас будут интересовать только постоянная задержка распространения данных между двумя устройствами, постоянная скорость передачи данных, вероятностная частота ошибок и статистические характеристики трафика. При разработке деталей механизмов управления потоком и контроля ошибок в таких протоколах, как TCP, важно получить возможность влиять на производительность управления потоком и контроля ошибок на уровнях выше уровня передачи данных.

Методы контроля ошибок используются для восстановления после потери или повреждения протокольных модулей данных при их прохождении от отправителя к получателю. Как правило, контроль ошибок включает обнаружение ошибок на базе контрольной последовательности кадра (Frame Check Sequence, FCS) и повторную передачу протокольного модуля данных. Контроль ошибок и управление потоком реализуются вместе в едином механизме, регулирующем поток протокольных модулей данных и определяющем, когда следует повторить передачу одного или нескольких протокольных модулей данных. Таким образом, контроль ошибок, как и управление потоком, представляет собой функцию, реализуемую на различных протокольных уровнях.

Механизмы управления каналом

Для управления потоком и контроля ошибок на уровне передачи данных, как правило, используются три метода: остановка с ожиданием, возврат на N шагов и селективный выбор. Последние два метода представляют собой специальные случаи техники скользящего окна. Мы рассмотрим все эти методы в данном разделе.

Представьте себе две оконечные системы, соединенные напрямую каналом связи. Передающая система собирается послать сообщение или блок данных отправителю. Данные посылаются не единым блоком, а разбиваются на последовательность кадров.

Эта процедура выполняется по одной или по нескольким из перечисленных ниже причин:

- ◆ Конечность размеров буфера получателя.
- ◆ Чем дольше время передачи, тем выше вероятность ошибки, в результате которой потребуется повторная передача целого кадра. При меньшем размере кадров ошибки выявляются быстрее, и меньшее количество данных приходится передавать повторно [1].

Остановка с ожиданием

Простейшая схема управления потоком, называемая управлением потоком с остановкой и ожиданием

(stopandwait), работает следующим образом. Отправитель пересылает кадр, приняв его, получатель сообщает о своем желании принять другой кадр, отсылая обратно подтверждение о получении данного кадра. Прежде чем посылать следующий кадр, отправитель должен ждать подтверждения. Таким образом, получатель может остановить поток данных, просто "придержав" подтверждение.

Схема ARQ с возвратом на N шагов

Наиболее часто употребляемая форма контроля ошибок, основанная на управлении потоком при помощи скользящего окна, называется автоматическим запросом на повторение с возвратом на N шагов. В этом методе станция может послать серию кадров, последовательно пронумерованных по модулю какого-либо максимального значения. Количество неподтвержденных кадров определяется размером окна с помощью метода скользящего окна для управления потоком. При отсутствии ошибок получатель будет подтверждать принятые кадры как обычно (сообщениями RR или подтверждениями "на попутных" модулях данных). Если получающая станция обнаруживает в кадре ошибку, она может послать отрицательное подтверждение REJ (REJect – отказ) для этого кадра. Получающая станция отбросит этот кадр и все последующие входящие кадры, пока не примет правильную копию ошибочного кадра. Таким образом, передающая станция, получив сообщение REJ, должна передать повторно ошибочный кадр, а также все последующие кадры, которые она уже успела передать.

Схема ARQ с селективным выбором

В схеме автоматического запроса на повторение с селективным отказом повторно передаются только те кадры, для которых отправитель получает отрицательное подтверждение, называемое в данном случае SREJ (Selective REJect – селективный отказ), а также кадры, время ожидания подтверждения для которых истекло.

Алгоритм селективного отказа кажется более эффективным, чем схема с возвратом на N шагов, так как он позволяет минимизировать количество повторно передаваемых кадров. С другой стороны, получатель должен управлять буфером, достаточно большим, чтобы сохранять все кадры, полученные после отправки им команды SREJ, до тех пор, пока ошибочный кадр не будет передан повторно. Также получатель должен сам расставлять получаемые кадры в правильном порядке. Отправитель также должен обладать более сложной логикой, позволяющей передавать кадры не по порядку. В связи с большей сложностью, алгоритм селективного отказа получил значительно меньшее распространение, чем схема возврата на N шагов.

Постановка задачи

В данной статье рассматривается производительность сетей в канальном уровне модели ISO/OSI. Несмотря на все более широкое применение сетей, к настоящему моменту отсутствует методика тестирования каналов связи данного типа. Такое положение зачастую приводит к сложностям при их сдаче в эксплуатацию. Причина – отсутствие критериев оценки качества канала даже в простейшей конфигурации точка–точка.

При выборе канала возникает вопрос выбора протокола передачи данных, таких как протокол с ожиданием, протокол с потерями данных с подтверждений и протоколы скользящего окна. В данной статье рассматривается производительность схемы ARQ с возвратом на N шагов в протоколах скользящих окон.

Протокол с потерями данных с подтверждений, факт приёма переданного кадра должен подтверждаться специальным сообщением (ACK, NAK) [1]. Если в результате

помех на физическом уровне кадр будет потерян, то никаких попыток его восстановить на канальном уровне произведено не будет. Этот класс сервиса используется там, где физический уровень обеспечивает настолько высокую надёжность при передаче, что потери кадров происходят редко и восстановление при потере кадров можно переложить на верхние уровни. Данный вид сервиса также применяют при передаче данных в реальном времени там, где лучше потерять часть данных, чем увеличить задержку при их доставке. Например, передача речи, видео изображения.

Протоколы скользящего окна

У отправителя есть определённая константа n – число кадров, которое отправитель может послать без ожидания подтверждения каждого. По мере получения подтверждений, отправленные кадры будут сбрасываться из буфера отправителя, и буфер будет пополняться новыми.

Окно может включать N пакетов, и возможны задерж–

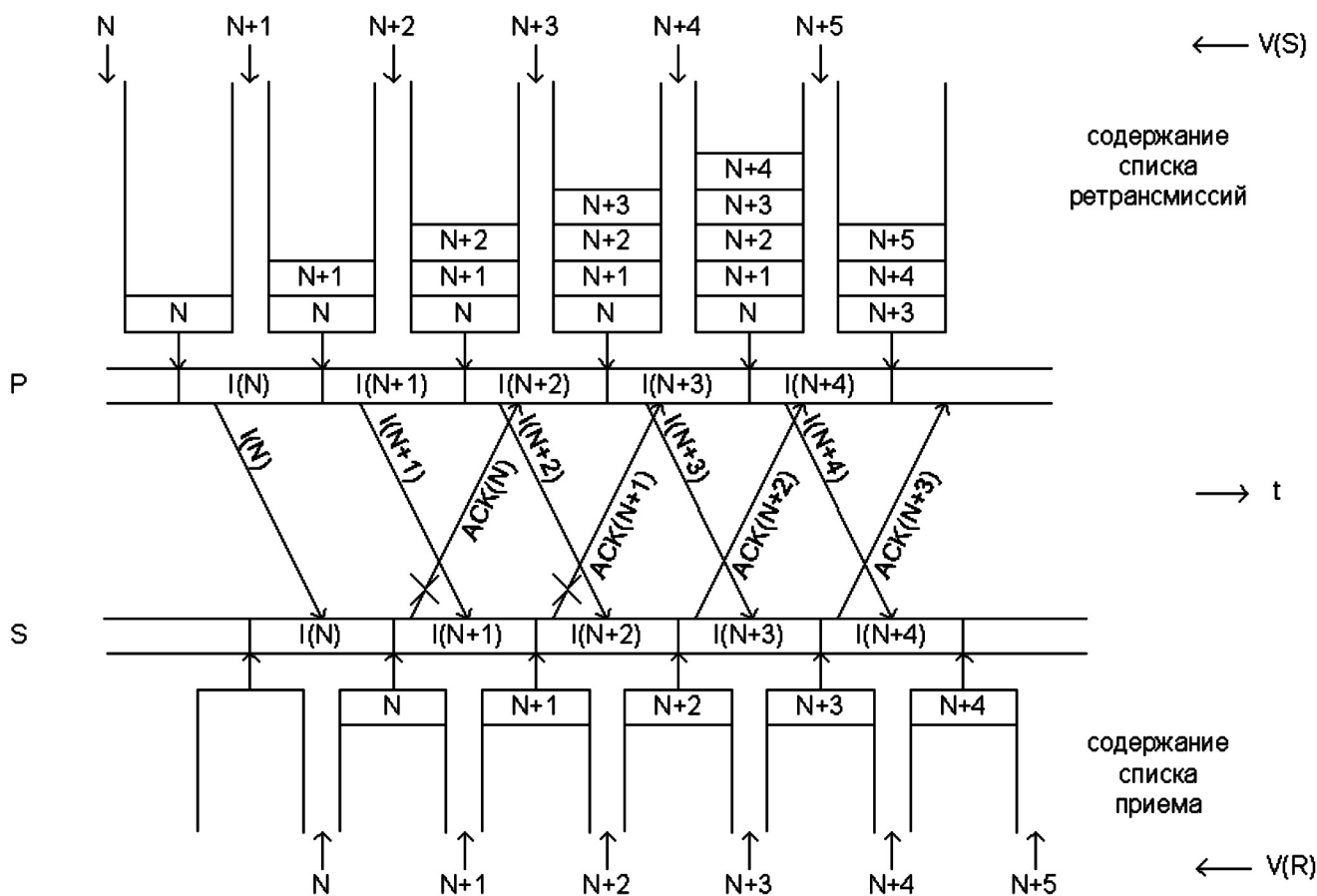


Рисунок 1. Протокол скользящего окна.

ки в получении подтверждений на протяжении окна. Так, если произошла ошибка при передаче, т.е. отправитель получает отрицательную квитанцию относительно пакета с номером K , нужна повторная передача, и она начинается с пакета K .

Например, в сетях можно использовать переменный размер окна. Время ожидания ($T_{ож}$) подтверждений вычисляется по формуле [2]

$$T_{ож} = 2 \cdot T_{ср}$$

где

$$T_{ср} = 0,9 \cdot T_{ср \text{ ПРИБ}} + 0,1 \cdot T_i,$$

$T_{ср}$ – усредненное значение времени прохода пакета до получателя и обратно,

$T_{ср \text{ прев}}$ – усредненное значение времени прохода пакета до получателя и обратно для предыдущий сообщении

T_i – результат i го измерения этого времени.

Время доставки кадра и время доставки подтверждения в некоторых случаях может быть большим [1]. Оно может приводить к серьезным бесполезным тратам пропускной способности канала. Рассмотрим пример – спутниковый канал на 50 Kbps с общей задержкой 500 ms. Пусть мы хотим использовать протокол 4 для передачи кадров размера 1000 бит. В момент, равный 0 ms отправитель отправляет первый кадр. В 20ms кадр полностью отправлен, в 270 ms он принят и в 520 ms отправитель получил подтверждение. Эти цифры говорят о том, что отправитель был блокирован в течении 500/520, т.е. 96% времени. А это – потеря пропускной способности канала.

Эта проблема есть следствие правила, по которому отправитель ждет подтверждения, прежде чем отправить следующий кадр. Это требование можно ослабить – разрешить отправителю отправлять до n кадров, не ожидая их подтверждения. Надлежащим выбором значения n (размер окна) отправитель может заполнить все время, необходимое на отправку кадра и получение его подтверждения. В вышеприведенном примере n должно быть равным по крайней мере 26. Это как раз то количество кадров, которое отправитель успеет отправить за 520 ms, прежде чем придет подтверждение на кадр 0. Таким образом, неподтвержденными будут 25 из 26 кадров, окно отправителя будет на 26 кадров.

Эта техника известна как конвейер. Ее применение в случае ненадежного канала сталкивается с рядом проблемами. Первая из них – что делать, если в середине потока пропадет или попадет поврежденный кадр? Получатель уже получит большое количество кадров к тому моменту, когда отправитель обнаружит, что что-то произошло. Когда получатель получит поврежденный кадр, он его должен сбросить; что делать с последующими кадрами? Канальный уровень обязан передавать пакеты на сетевой уровень в том порядке, в каком их отправлял отправитель.

Модель скользящего окна

С увеличением размера окна вероятность появления ошибки в окне увеличивается. Рассмотрим вероятность появления ошибки в i -ом кадре в окне размером m кадров. Из теории вероятности известно [3] распределение вероятности между возможными значениями некоторой случайной величины – числа появления события при m попытах

$$P_{km} = C_m^k * p^m * q^{m-k},$$

где

p – вероятность появления ошибки в кадре,

$$q = 1 - (1 - e)^N,$$

C_m^k – число способов, какими из m опытов можно выбрать k .

Вероятность успешной передачи кадра в i -ой попытке

$$q^i = (1 - q)(1 + q + q^2 + q^3 + \dots + q^i)$$

$$q^i = 1 - q^i$$

q = вероятность искажение одного кадра.

$$q = 1 - (1 - e)^n$$

n – длина кадра в битах,

k – число кадров в окне

$$q_k = 1 - (1 - e)^{nk},$$

e – вероятность битовых ошибок в канале.

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

$$P_{зад} = 1 - q^i,$$

откуда

$$m = \frac{\lg(1 - P_{зад})}{\lg q_k}$$

Математическое ожидание числа попыток до первой успешной доставки всех кадров в окне (рис. 1):

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

где

i – номер попытки,

p_i – вероятность доставки неискажённого кадра на i -й попытке,

p_k – вероятность доставки неискажённых k кадров в окне, $p_k = 1 - q_k$

$$M(i) = \frac{p_k}{(1 - q_k)^2} = \frac{1}{p_k} (1),$$

что определяет жёсткую зависимость производительности протокола, от уровня помех в канале.

Для простоты расчётов возьмём идеальный канал пе-

передачи данных. В идеальном канал передачи данных BER (Bit Error Rate – вероятность битовых ошибок) равно 0, другими словами, в канале передачи данных кадры не будут повреждены. Из рис. 1 видим, что в канале передачи данных не ожидаем квитанции. С этим можем исключить время ожидания получение квитанции. По мере отправки кадров, получаем положительные.

Помимо задержек, связанных с временем на передачу информационных и служебных кадров, необходимо также учитывать реальную задержку распространения сигналов в передающей среде (электрические кабели, оптические и др.).

В условиях зашумленности канала для оценки времени передачи N бит информационного кадра, введём реальную скорость передачи данных - V.

$$V = \frac{N_{\text{кадр}} * k}{T_k} * p_k \quad (1)$$

где
 N (бит) – длина кадра,
 C (бит) – число проверочных битов в кадре,
 S – длина канала передачи данных (в метрах),

R(бит/с) – номинальная скорость канала,
 $R_{\text{расп.сигн}}$ (бит в метр /с) – скорость распространения сигнала в среде передачи.

$$R_{\text{расп.сигн}} = c * \mu,$$

где
 c – скорость распространения сигнала в вакууме,
 μ – относительная скорость распространения сигнала в канале передачи данных.

Для наиболее распространённых кабельных систем справедливо соотношение реальной скорости распространения сигналов в вакууме

Коаксиальный кабель – относительная скорость распространения сигнала: 0,66 (%) [1]

Витая пара cat3– кабель – относительная скорость распространения сигнала: 0,65–0,71 (%) [2]

Оптоволоконный кабель – относительная скорость распространения сигнала: 0,66–0,78(%) [3]

T – время передачи кадра

$$T = \frac{N}{R} + \frac{N * S}{R_{\text{расп.сигн}}} = \frac{N * R_{\text{расп.сигн}} + R * N * S}{R_{\text{расп.сигн}} * R}$$

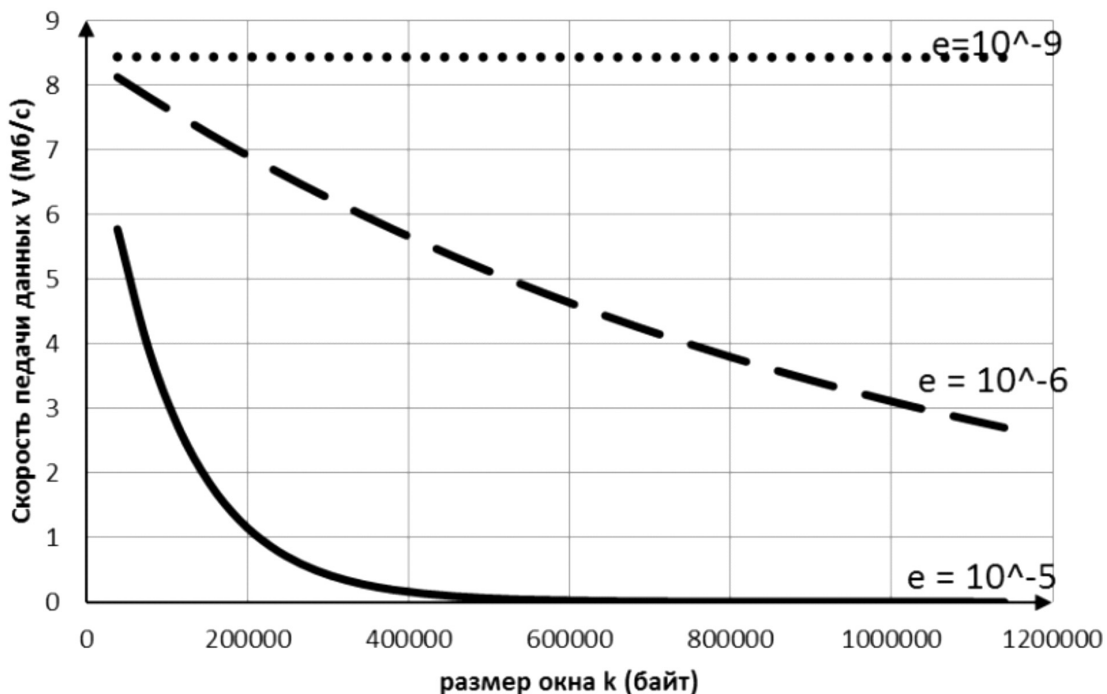


Рисунок 2. Реальная скорость канала связи (Ethernet).

$$T_k = \frac{N * k}{R} + \frac{k * N * S}{R_{\text{расп.сигн}}} + T_{\text{интв}} * k =$$

$$= \frac{k * (N * R_{\text{расп.сигн}} + R * N * S)}{R_{\text{расп.сигн}} * R} \quad (3)$$

$T_{\text{интв}}$ – интервал между двумя кадрами

Также для технологии Ethernet произведём расчёты для выражения (1) на **рис.2**, где показана реальная скорость канала с учётом длины канала передачи. Входные параметры определены так:

$$C = 32 \text{ бита}, N_{\text{АСК}} = 72 \text{ байта [4]}, R = 10^7 \text{ б/с}, e = 10^5,$$

$$R_{\text{расп.сигн}} = 1.98 * 10^8 \text{ (бит в метр)/с}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Яковлев, Ф.И. Кушназаров Оценка влияния помех на производительность протоколов канального уровня
2. RFC 793 – Протокол управления передачей (ТСР)
3. Оценка производительности вычислительного комплекса информационно-измерительной и управляющей системы специального назначения дис. канд. техн. наук.: 05.11.16 защищена 17.12.2010 Баштанник, Николай Андреевич г. Астрахань 2010 год. 176 с. Библиогр.: с. 134–145.
4. Теория вероятности. Вентцель Е.С (4-е издание)

© Ф.И. Кушназаров, (inventor777@mail.ru), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»,

