

УДК 621.396.96

УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОТОКОЛОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В КОСМИЧЕСКИХ СЕТЯХ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ

В. В. Кунгурцев,

канд. техн. наук

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

Проведен сравнительный анализ помехоустойчивости и скорости передачи информации в протоколах информационного обмена с автоматическим переспросом на канальном и транспортном уровнях информационного взаимодействия космических сетей связи и управления.

An analysis of the noise stability and transfer speed of automatic repeat request protocols is given. These protocols may be used at data-link level and at transport level of communication and management space network systems. In the analysis, the author compares the performance and error-rate for using protocols at these two levels.

Взаимозависимость пропускной способности и достоверности передачи информации в определенных условиях каналов информационного обмена создает возможности для оптимизации параметров протоколов. В общем случае описание протокола информационного обмена содержит неформальное и формальное описание правил информационного обмена, а также предусматривает определение форматов сообщений и временных параметров обмена, формирование управляющей информации, управление потоком команд и процессом исправления ошибок.

За последние годы потребности в объемах и скоростях передачи данных резко возросли одновременно с ростом качества каналов информационного обмена, так что использование существующих сетей типа X.25 или выделенных каналов стало неэффективным и неадекватным в новых условиях. Возникла необходимость в создании новых экономичных высокоскоростных методов передачи, коммутации и ретрансляции данных, которые могли бы заменить или дополнить ныне существующие. Таким явился метод ретрансляции кадров, определенный стандартами ITU-T, ANSI и группой Frame Relay, став основой одноименных сетей Frame Relay, получивших самостоятельное применение, и сетевых технологий Frame Relay, подживающих работу других сетей.

Появлению методов и сетей ретрансляции кадров в значительной мере способствовало повышение качества и пропускной способности новых средств связи (волоконно-оптических, спутнико-

вых, цифровых). При работе на таких каналах исправлению ошибок в самой сети уделяется меньше внимания, и при их обнаружении искаженный кадр просто аннулируется. Окончательная проверка правильности информации, повторная передача искаженных пакетов (блоков) данных и управление потоком осуществляются протоколами вышерасположенных уровней, которые реализуются конечными устройствами сети Frame Relay, устройством доступа FRAD (Frame Relay Access Device) или устройствами других подключенных к Frame Relay сетей. Однако использование подобных технологий является оправданным только в сетях с низкими вероятностями ошибок, приходящихся на бит информации.

Для того чтобы оценить целесообразность использования технологий Frame Relay, необходимо провести анализ обеспечиваемых с их помощью достоверности и скорости передачи информации. При исследовании помехоустойчивости каналов информационного обмена на канальном уровне исходной величиной для проведения расчетов показателей помехоустойчивости и эффективной скорости прием вероятностный ошибочного приема символа сообщения p_0 . Величина p_0 характеризует помехоустойчивость протоколов физического уровня. В технологии Frame Relay автоматический переспрос искаженных сообщений используется на более высоких уровнях информационного взаимодействия, чем канальный. При этом изменяются размеры допустимых «окон» сообщений, соответствующие длине пакетов и длительности

циклов передачи информации, определяемые временем обработки и «сбора» сообщений на приемной стороне. Используемые параметры помехоустойчивого кодирования передаваемой информации обычно учитываются в виде эффективной скорости, определяемой отношением числа переданных информационных символов к общему числу переданных символов с учетом автоматических переспросов:

$$V_{\text{эф}} = \frac{k}{N} \approx \frac{k}{nr_{\text{ср}}},$$

где k — число информационных символов, переданных за единицу времени; N — общее число переданных за единицу времени символов, с учетом избыточных и служебных символов; n — число передаваемых символов на k информационных, без учета переспросов (сумма длин пакетов, переданных за единицу времени); $r_{\text{ср}}$ — среднее число повторных передач пакетов.

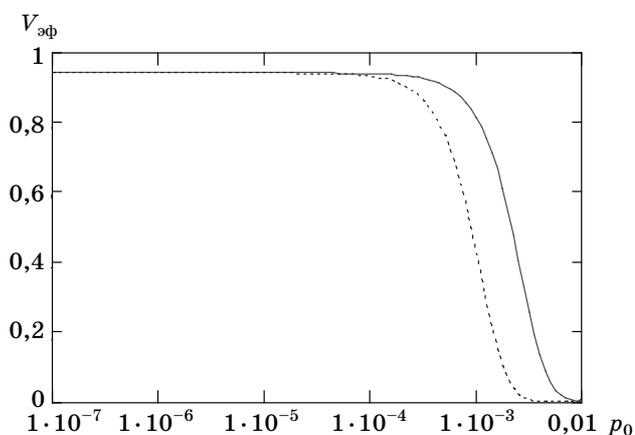
Для проведения анализа эффективности протоколов информационного обмена канального уровня представления была использована математическая модель, построенная на основе матричного описания процесса передачи информации и математического аппарата марковских случайных процессов. Показатели скорости передачи информации для различных условий помехоустойчивости представлены на рис. 1. Для семейства протоколов X.25 алгоритмы информационного обмена с автоматическим переспросом искаженных пакетов используются на канальном уровне, а для семейства FR осуществляются на более высоких уровнях информационного взаимодействия.

Как видно из графиков, при высоком качестве связи, когда вероятность искажения информационного символа сообщения достаточно мала ($p_0 =$

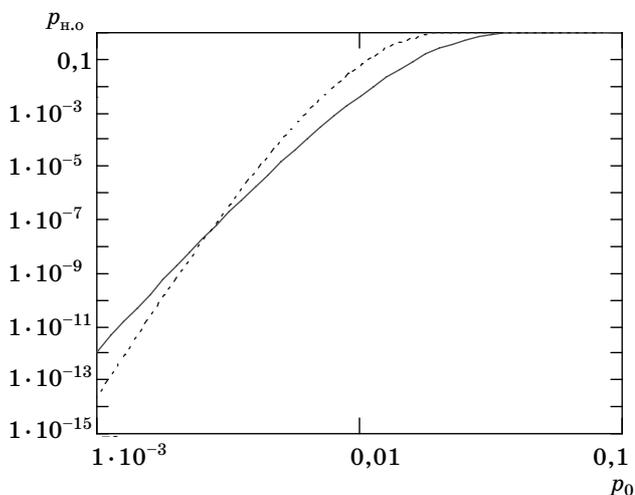
$= 10^{-7} - 10^{-5}$), эффективные скорости при использовании протоколов информационного обмена с автоматическим переспросом на канальном и транспортном уровнях практически равны. Однако при проведении расчетов не учитывалась высокая эффективность использования протоколов высоких уровней при передаче больших потоков информации, достигаемая сокращением избыточности сообщений. С ухудшением условий передачи информации эффективность использования гибридных протоколов информационного обмена повышается и позволяет улучшить пропускную способность систем связи.

Достоверность используемых гибридных протоколов будем характеризовать вероятностью необратимой ошибки (рис. 2). Под необратимыми ошибками понимаются ошибки, результаты которых не могут быть исправлены методами автоматического переспроса искаженных сообщений или помехоустойчивого кодирования на данном уровне представления.

Из графиков видно, что при малых значениях вероятностей ошибочного приема символа информации вероятности необратимых ошибок для протоколов с автоматическим переспросом на транспортном уровне представления несколько ниже, чем для протоколов канального уровня. Однако при построении данных зависимостей для протоколов канального уровня не учитывалась возможность исправления ошибок на более высоких уровнях представления, поэтому в реальных системах, использующих многоуровневые протоколы канального уровня, все же обеспечивают требуемую достоверность передачи информации. При ухудшении условий в каналах информационного обмена сетей связи и управления протоколы, не реализующие автоматический переспрос искаженных сообщений на канальном уровне, могут не удовлет-



■ Рис. 1. Зависимости эффективной скорости передачи информации от вероятности ошибочного приема символа для протоколов X.25 (—) и FR (---)



■ Рис. 2. Зависимости вероятности необратимой ошибки от вероятности ошибочного приема символа для протоколов X.25 и FR

ворять требованиям по достоверности передачи информации. В работе [6] представлены математические модели протоколов информационного обмена канального уровня с автоматическим переспросом и рассмотрены вопросы их практической реализации и выбора параметров в перспективных низкоорбитальных спутниковых системах.

Таким образом, использование протоколов информационного обмена с автоматическим переспросом на канальном уровне необходимо в условиях «плохих» каналов связи и желательно в условиях «хороших» каналов, так как позволяет за счет незначительного снижения пропускной способности каналов информационного обмена добиться высокой достоверности передаваемых сообщений. Использование технологий Frame Relay оправдано для каналов информационного обмена космических сетей связи и управления с низкой вероятностью ошибки на символ, для которых наиболее существенным является высокая пропускная способность и в которых каналы информационного обмена обладают более высокой надежностью и устойчивостью.

Литература

1. **Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации** / Г. И. Тузов, Ю. Ф. Урядников, В. И. Прытков и др.; Под ред. Г. И. Тузова. М.: Радио и связь, 1993. 384 с.
2. **Якубайтис Э. А.** Открытые информационные сети. М.: Радио и связь, 1991. 208 с.
3. **Каневский З. М., Дорман М. К., Токарев Б. В., Крестинин В. В.** Передача информации с обратной связью. М.: Связь, 1976. 352 с.
4. **Протоколы и методы управления в сетях передачи данных:** Пер. с англ. / Под ред. Ф. Ф. Куо. М.: Радио и связь, 1985. 480 с.
5. **Мальцев Г. Н., Кунгурцев В. В.** Методы передачи данных в телекоммуникационных системах с переспросом субпакетов при сбоях и ошибках // Методы и технические средства обеспечения безопасности информации. Тез. докл. конф. СПб., 1999. С. 45–46.
6. **Мальцев Г. Н., Кунгурцев В. В., Штанько С. В., Моторин Н. М.** Принципы построения и технические решения перспективной низкоорбитальной космической командно-ретрансляционной системы // Военно-космическая деятельность России — истоки, состояние, перспективы: Тр. науч.-практич. конф. и выставки / ВКА. СПб., 2005. С. 97.