

УДК 004.72

DOI: 10.22213/2410-9304-2022-2-128-137

Определение параметров пакетной передачи данных при работе в метровом диапазоне

А. Н. Копысов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. Ю. Шаимов, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В статье рассматриваются параметры организации пакетного TCP/IP-обмена в канале частотного диапазона от 30 до 300 МГц для возможности реализации защищенного VPN-соединения (туннеля) между двумя абонентами в рамках одного из режимов мобильной сети связи. VPN-соединение при рассмотрении представляет собой пакетную передачу TCP/IP, отличие которой заключается в присоединении к исходному пакету нового специального заголовка, а также к криптографическому шифрованию исходного пакета. Таким образом, организацию VPN-туннеля можно представить, как организацию TCP/IP-соединения.

Стеки протоколов TCP/IP ориентируются на поддержку высокоскоростных интерфейсов, работающих на высоких частотах (например, Ethernet/Wi-Fi, скорость от 100 ГБ/с, частота 2,4 ГГц). Основной проблемой подобной пакетной реализации на сравнительно низких частотах (30–300 МГц) является достаточная неустойчивость мобильной МВ-радиосвязи (связь в метровом диапазоне волн) на заданном интервале частот и низкая скорость передачи (до 32 КБ/с), вследствие чего может наблюдаться высокая вероятность возникновения битовых ошибок данных, потери информационных пакетов и огромные временные задержки при обмене. В качестве модели для оценки пакетной передачи используются модель Reno [рек. ITU-T Y.1541, RFC2001] и такие регламентированные показатели [рек. ITU-T 1.1540, ITU-T Y.1541], как пропускная способность канала, отношение сигнал/шум (ОСШ), задержка передачи (IPTD), вариация задержки передачи (IPDV), коэффициент ошибок при передаче (IPER), коэффициент потери пакетов (IPLR, SER), максимальная единица транспортировки пакета (MTU). Целью данной статьи является проверка и определение основных качественных регламентированных показателей протокола TCP/IP применительно к низкоскоростной линии передачи. Проведено моделирование низкоскоростной линии связи, имеющей характеристики: длина до 5 км, скорость передачи от 300 бит/с до 32 000 бит/с (модемные протоколы V.21 – V.34bis), размеры передаваемых пакетов 72, 576 и 1500 байт (пороговые значения максимальной единицы транспортировки пакета), мощность передатчика 2 Вт, сигнально-кодовая конструкция представляет собой сигнал 4-FSK с кодированием Ридда-Маллера RM (30, 14). На основании анализа полученных данных были выделены три категории каналов: «плохой» – низкое отношение сигнал/шум (2–5 дБ), высокая потеря пакетов (выше 10 %) и большая задержка передачи (выше 400 мс); «средний» – ОСШ от 5 до 10 дБ, потеря пакетов менее 1 %, задержка варьируется от 400 до 800 мс; «хороший» – канал, проходящий по всем регламентированным параметрам TCP/IP, ОСШ более 10 дБ, вероятность ошибки менее 0,1 %, задержка укладывается в регламентированные 400 мс.

Ключевые слова: сеть связи, VPN-туннель, МВ-радиосвязь, TCP/IP, размер пакета, скорость передачи, пропускная способность, вероятность потери пакета.

Введение

Современное развитие средств связи ставит непростые задачи перед учеными и инженерами, такие как разработка многофункциональных быстродействующих систем большого объема информации для пятого и шестого поколения, а также аппаратная и программная модернизация существующих систем, работающих в текущих одобренных стандартах связи. В рамках прототипирования (создания виртуальной модели) сети связи, поддерживающей различный перечень услуг и режимы ДМВ-связи, МВ-связи, спутниковой связи, в качестве одной из услуг рассматривается задача организации защищенной пакетной передачи посредством создания VPN-туннеля [1]. Требуется определить

параметры пакетной передачи для возможности организации VPN-канала на частотах от 30 до 300 МГц с учетом низких скоростей до 32 000 бит/с (такую линию передачи будем считать низкоскоростной) [2].

На рис. 1 представлен пример организации защищенной сети связи, позволяющей передавать зашифрованные данные в информационную систему хранения данных (на рисунке обозначены: РС – радиостанция, SW – шлюз для сопряжения различных режимов и оборудования, ПУ – периферийные устройства, ПЭВМ – персональная электронная вычислительная машина, ИС – информационная система или сервер хранения данных).

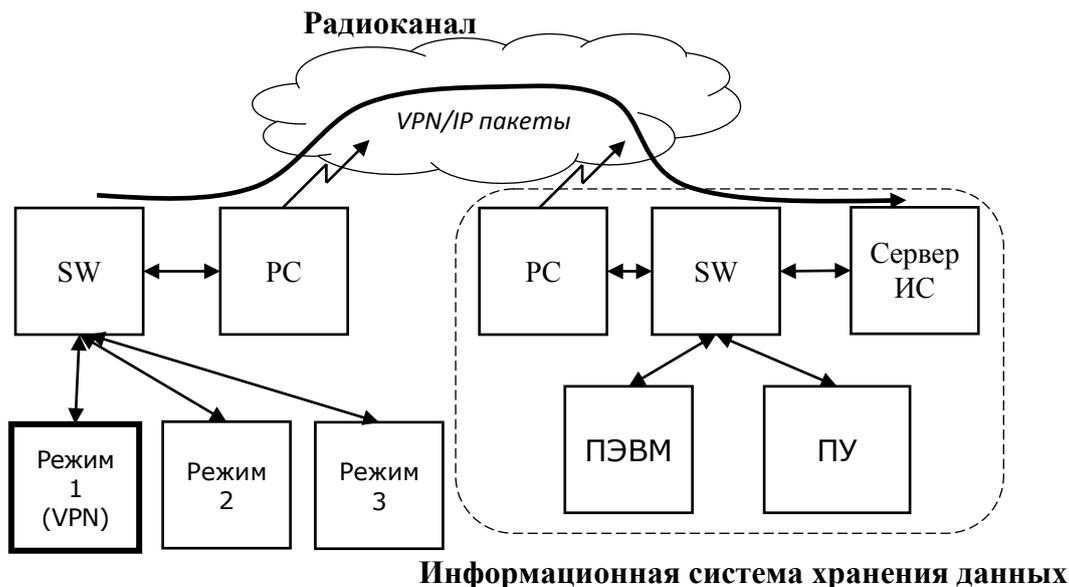


Рис. 1. Организация режима IP-передачи (VPN-туннеля) в сети связи
 Fig. 1. Organization of IP transmission mode (VPN tunnel) in a communication network

VPN-туннелирование представляет собой создание виртуального канала передачи IP-пакетов, где разграничение сетевого пространства происходит при помощи наложения специального VPN-заголовка на IP-пакет (первоначальный пакет шифруется). Таким образом, итоговый пакет также является IP-пакетом, размер которого больше на величину VPN-заголовка (новый IP+IPsec) (рис. 2) [3, 4].

Таким образом, итоговый пакет также является IP-пакетом, размер которого больше на величину VPN-заголовка (новый IP+IPsec) (рис. 2) [3, 4].



Рис. 2. Структура VPN IP-пакета
 Fig. 2. VPN IP packet structure

Размеры IP-пакетов регламентируются в документе RFC 791, максимальный размер пакета может равняться 65535 байт, однако самый большой размер, который может быть принят любым абонентом без фрагментации и прочих вспомогательных технических процессов, составляет 576 байт. Стеки протоколов TCP/IP ориентируются на поддержку высокоскоростных интерфейсов, работающих на высоких частотах (например, Ethernet/Wi-Fi, скорость от 100 Гб/с, частота 2,4 ГГц). Анализируя вышенаписанное, можно сказать, что поставленная задача по реализации услуги сводится к решению возможности организации TCP/IP-обмена, принимая также во внимание влияния особенностей канала МВ-радиосвязи [5]. Цель данной статьи: оценить параметры пакетной передачи для канала связи на частотах от 30 до 300 МГц (МВ-радиосвязь) с учетом требований протокола TCP/IP.

Основные показатели качества передачи сигнала в канале связи и используемая математическая модель рабочих характеристик

Надежность передачи данных в основном определяется выбором сигнально-кодовой конструкции (СКК) – физического носителя сигнала (модуляции) – и способом его кодирования. Однако когда речь заходит о надежности, также стоит учитывать и сам процесс обмена, а именно соблюдать баланс скорости, времени передачи, временных задержек и количество ошибок (в том числе потерянных пакетов) [6, 7]. Для оценки возможности организации обмена применяются методы контроля качества передачи данных по каналу, в которых оцениваются такие характеристики, как вероятность возникновения битовой ошибки данных в канале, оценка вероятности ошибки пакета (группы бит), отношение сигнал/шум в канале, а также используются методы

контроля канала путем оценки его пропускной способности (максимального объема передачи информации в единицу времени). Отметим, что для предварительной оценки параметров используются различные математические расчеты (математическая модель), правильность которых подтверждается при помощи практических измерений (реальной модели или прототипа) [8, 9].

Основные показатели качества пакетной передачи регламентируются рекомендациями ITU-T (ITU-T 1.1540, ITU-T Y.1541). К показателям относят:

1. Коэффициент готовности (PIA, percent IP service availability). Процент от общего запланированного времени обслуживания, который определяется с помощью функции доступности передачи IP-пакетов.

2. Задержка передачи IP-пакета (IPTD, IP packet transfer delay). Определяется как время доставки пакета между отправителем и получателем: $IPTD = T2 - T1$, ($T2 > T1$) $\leq T_{max}$, где $T1$ – время ввода пакета во входную точку сети (отправка пакета), $T2$ – время вывода пакета из выходной точки сети (получение пакета), T_{max} – нормированная максимальная величина задержки, больше которой происходит потеря IP-пакета. Пороговое значение равняется 400 мс.

3. Вариация задержки (джиттер) передачи IP-пакетов (IPDV, IP packet delay variation). Определяется как разность между абсолютной задержкой передачи пакета (x_k) и опорной величиной задержки пакета между отправителем и получателем ($d_{1,2}$) $v_k = x_k - d_{1,2}$. Джиттер, или вариация задержки, появляется из-за неравномерного пребывания пакетов к получателю (имея разное время задержки). Верхнее пороговое значение 50 мс.

4. Коэффициент ошибок при передаче IP-пакетов (IPER, IP packet error ratio). Отношение общего числа исходов передачи IP-пакетов с ошибками к общему числу передач пакетов. Пороговое значение 10^{-4} .

5. Коэффициент потери IP-пакетов (IPLR, IP packet loss ratio). Это отношение общего количества потерянных исходов IP-пакетов к общему количеству переданных IP-пакетов. Пакет считается потерянным, когда значение задержки превышает некоторого максимального значения T_{max} (происходит отбрасывание пакета). Ориентировочное значение 10^{-3} .

6. Коэффициент нарушения порядка следования IP-пакетов (IPRR, IP packet reordering ratio). Определяется как отношение общего числа пришедших переупорядоченных пакетов к общему числу всех переданных пакетов.

7. Дублирование IP-пакетов (IPDR, IP packet duplicate ratio). Определяется как отношение общего числа результатов дублирования IP-пакетов к общему количеству успешно переданных пакетов за вычетом результатов дублированных пакетов.

8. Оценка времени жизни IP-пакета (TTL, time to live). Обозначает период времени (или число итераций), за который данный пакет может существовать до своего уничтожения.

9. Максимальная единица транспортировки пакета (MTU, maximum transfer unit). Определяет максимальный размер пакета, способный транспортироваться по физическому каналу связи. Например, сети Ethernet имеют значение MTU, равное 1500 байт, сети FDDI – 4096 байт, а сети X.25 чаще всего работают с MTU в 128 байт.

Для исследования пропускной способности TCP/IP обычно используют модель Reno [рек. ITU-T Y.1541, RFC2001], пропускная способность $B(p)$ в которой определяется максимальным значением буферного окна W_{max} [байт], периодом кругового обращения RTT [с], количеством пакетов запрошенных для подтверждения приема квитанцией b , вероятностью потери пакета p , а также временем ожидания для повторной передачи оставшегося без ответа (потерянного) пакета [с]:

$$B(p) \approx \min \left(\frac{W_{max}}{RTT}, \frac{1}{RTT \sqrt{\frac{2bp}{3} + T_0} \min \left(1, 3 \sqrt{\frac{3bp}{8}} \right) p(1 + 32p^2)} \right) \quad (1)$$

Время задержки сообщения IPTD с момента отправки до получения ответа от скорости передачи U определяется размером допустимого окна в канале W [байт]:

$$IPTD = \frac{RTT}{2} = \frac{8 \cdot W}{2 \cdot U} [с]. \quad (2)$$

Для нижней границы частот МВ-канала размер окна часто выбирают равным размеру одного пакета, то есть при передаче каждый следующий новый пакет не будет передаваться передатчиком до тех пор, пока не придет подтверждающая квитанция от приемника на предыдущий отправленный пакет. В противном случае, если бы квитанция приходила на окно, состоящие из нескольких пакетов, то наблюдалась бы высокая вероятность потери всего окна

и повторная передача большого блока данных, что привело бы к несоизмеримой задержке, чем при потере и передаче одного пакета. Такие высокие потери обусловлены тем, что мобильная связь в канале на частоте от 30 до 300 МГц достаточно неустойчивая и наблюдается большая битовая ошибка. Данные соотношения заложены в основу программной модели оценки низкоскоростной пакетной передачи [10].

На этапе моделирования распространения сигналов проводилось исследование вероятности отсутствия или принятия ошибочных пакетов (SER/ IPER, IPLR) при передаче частотно-

временными сигналами. Надежность передачи сигнала в физической среде определяет сигнально-кодовая конструкция: модуляция сигнала и способ его кодирования. В основу положены сигналы с модуляцией 4-FSK, код Рида – Маллера RM (30,14). Исследование проводилось на виртуальной трассе длиной до 5 км, которая интерпретирует низкоскоростную линию передачи. Также важным фактором является постоянная мощность передатчика сигнала, составляет 2 Вт. Структурная схема моделирования низкоскоростной линии связи представлена на рис. 3 [11].

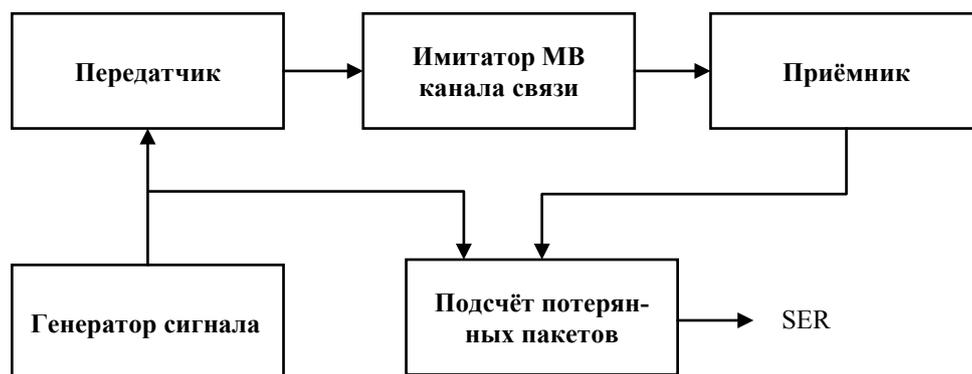


Рис. 3. Структурная схема моделирования прохождения сигнала в МВ-канале связи
Fig. 3. Block diagram of signal transmission simulation in the VHF communication channel

Используемые программные средства для создания модели: импорт модели канала из Matlab, среда разработки Qt Creator, библиотеки сокетов Qt QAbstractSocket, QTcpSocket, язык программирования C/C++ [12].

Результаты моделирования и анализ результатов

В ходе имитационного моделирования были получены зависимости вероятности битовой ошибки от отношения сигнал/шум, определены средние задержки между посланными пакетами и принятыми квитанциями. Размеры пакетов

изменяются и составляют от 72 байт и до возможного максимального значения.

В табл. 1–3 и на соответствующих им рис. 4–6 приведены результаты для размера пакетов с данными, которые составляет 72, 576 и 1500 байт (из них 26 байт – заголовок, 72 байт – минимально возможный размер пакета в системе, 576 и 1500 байт – значения пакетов, рекомендованные стандартами TCP/IP, также ограничивается MTU), размер ответной квитанции всегда равен 72 байта [13]. Скорости выбраны исходя из значений скоростей протоколов модемной связи V.21 – V.34bis.

Таблица 1. Характеристики пакетной передачи в МВ-канале по результатам моделирования (средние на 1000 измерений) для размера пакета 72 байт

Table 1. Characteristics of packet transmission in the MV channel according to the simulation results (average per 1000 measurements) for a packet size of 72 bytes

Размер пакета данных W , байт	Скорость передачи U , бит/с	Время задержки пакета IPTD, мс	Пропускная способность B , бит/с	ОСШ, дБ	Потеря пакетов SER, %
72	300	1914	138	5	2
	1200	472	554	12	0,15
	2400	242	1108	16	0,1
	4800	120	2215	17	0,1
	9600	60	4431	20	0,1
	16000	36	7385	20	0,1
	24000	24	11077	20	0,1
	32000	18	14796	20	0,1



Рис. 4. Параметры передачи для размера пакета 72 байт
 Fig. 4. Transmission parameters for a packet size of 72 bytes

Таблица 2. Характеристики пакетной передачи в МВ-канале по результатам моделирования (средние на 1000 измерений) для размера пакета 576 байт
 Table 2. Characteristics of packet transmission in the MV channel according to the simulation results (average per 1000 measurements) for a packet size of 576 bytes

Размер пакета данных W , байт	Скорость передачи U , бит/с	Время задержки пакета IPTD, мс	Пропускная способность B , бит/с	ОСШ, дБ	Потеря пакетов SER, %
576	300	15290	262	-5	100
	1200	3740	1047	2	3
	2400	1931	2095	5	2
	4800	960	4189	6	0,2
	9600	483	8378	12	0,15
	16000	285	13964	15	0,1
	24000	192	20945	20	0,1
	32000	146	27927	20	0,1



Рис. 5. Параметры передачи для размера пакета 576 байт
 Fig. 5. Transmission parameters for a packet size of 576 bytes

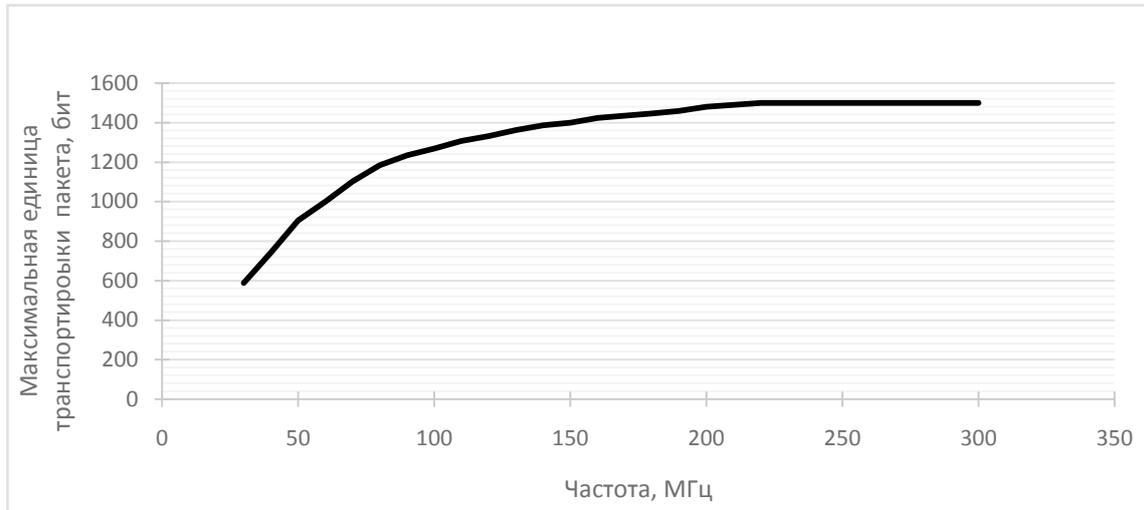


Рис. 7. Оценка MTU для разных частот
 Fig. 7. MTU estimation for different frequencies

Если размер пакета превышает значение MTU, то в соответствии с протоколом TCP/IP (готовым техническим решением) происходит процесс фрагментации (разбиение данных на пакеты меньшего размера) [14].

На рис. 8 представлен график зависимости вероятности потери пакета от отношения сигнал/шум в частотном диапазоне от 30 до 300 МГц.

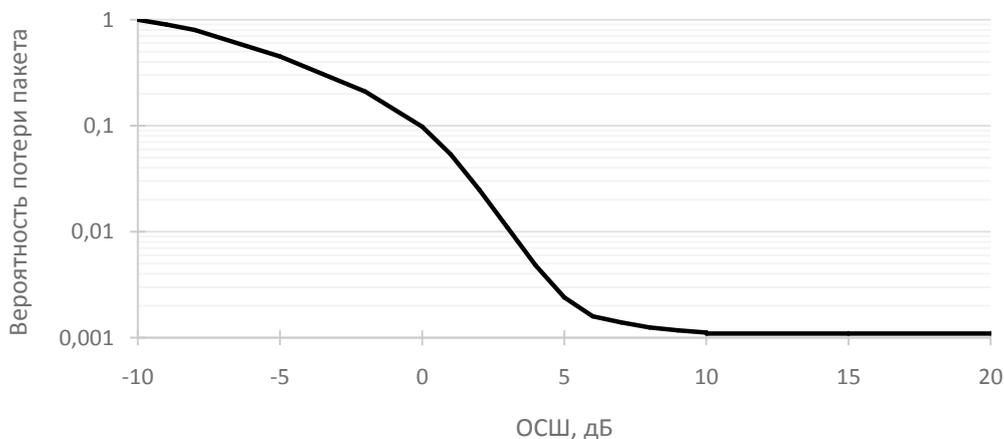


Рис. 8. Усредненный график зависимости потери пакета от ОСШ в МВ канале (от 30 до 300 МГц) при мощности передатчика 2 Вт
 Fig. 8. Averaged graph of the dependence of packet loss on the SNR in VHF (from 30 to 300 MHz) at a transmitter power of 2 W

График зависимости пропускной способности от размера пакета приведен на рис. 9. В соответствии с общими принципами организации радиосвязи при отсутствии доступа к каналу связи с требуемой пропускной способностью

необходимо снизить скорость передачи. Однако, если отношение сигнал/шум окажется критически малым, это приведет к полной потере соединения между передатчиком и приемником [15].

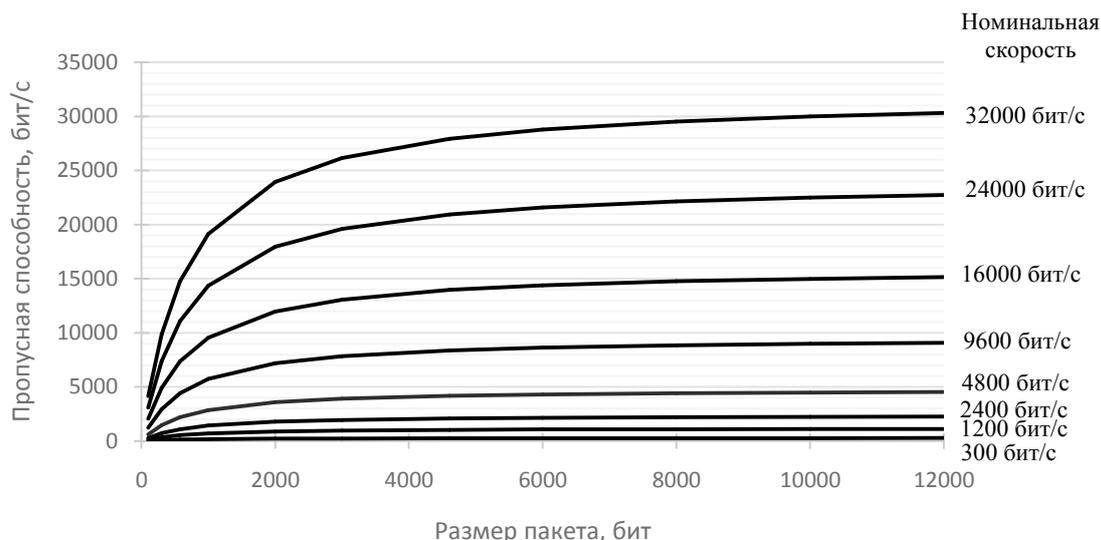


Рис. 9. Зависимость влияния размера пакета данных на пропускную способность
 Fig. 9. Dependence of the influence of the data packet size on throughput

Отметим, что увеличение размера пакета повышает пропускную способность только тогда, когда в канале не происходит искажение или потеря данных, то есть при устойчивом, надежном канале связи. В противном случае увеличение размера пакета может привести не к увеличению, а к снижению пропускной способности, так как сеть будет повторно передавать большие

порции информации. Для каждого уровня искажений данных можно подобрать рациональный размер пакета, для которого пропускная способность канала будет максимальной [16].

На основании проведенных вычислений и анализа результатов было выделено три различных состояния канала: плохой, средний и хороший (табл. 5).

Таблица 5. Параметры передачи при размере пакета 576 байт
 Table 5. Transmission parameters with a packet size of 576 bytes

Канал связи	Задержка пакета, мс	ОСШ, дБ	Средний процент потери пакетов (SER),%
Хороший канал	0-400	Более 5	0,1
Средний канал	400-800	От 2 до 5	1
Плохой канал	более 800	Меньше 2	10

Наиболее предпочтительными и универсальными параметрами передачи на всем частотном диапазоне от 30 до 300 МГц являются: скорость 16000 бит/с (размер пакета 576 байт), при ней наблюдается компромисс между временными задержками, временем передачи всего объема данных, реальной пропускной способностью составляет 87 % от номинальной скорости передачи, а самое главное – обеспечивается хорошее отношение сигнал/шум от 10 до 20 дБ с незначительной вероятностью возникновения ошибок при обмене (менее 1 %).

Заключение

В статье были рассмотрены основные параметры пакетной передачи в МВ-диапазоне частот от 30 до 300 МГц. Было проведено моделирование низкоскоростной 5км-й линии передачи на скоростях до 32 КБ/с с различным размером

передающих пакетов. В основу оценки пакетной передачи заложена модель Рино (рекомендация RFC2001), по которой вычисляется пропускная способность линии, также были регламентированы основные характеристики передачи по каналу, такие как отношение сигнал/шум, вероятность возникновения ошибок, приводящих к потере пакетов, временные задержки, а также определен размер максимальной посылки. В результате мы пришли к выводу, что наиболее удовлетворительными показателями на заявленной низкоскоростной линии является передача пакета размера до 576 байт на скорости 16000 бит/с. При этом задержка передачи равна 285 мс (укладывается в 400 мс по стандарту), отношение сигнал шум составляет не менее 11 дБ, а вероятность потери пакетов составляет менее 0,1 %. Все это позволяет рассматривать

возможность организации надежного VPN-туннеля на частотах от 30 до 300 МГц в качестве основы одной из услуг сети связи.

Библиографические ссылки

1. Архитектура построения гетерогенных сетей радиосвязи / В. А. Григорьев, Ю. А. Распаев, В. О. Аксенов [и др.] // *Электросвязь*. 2017. № 12. С. 14–21.

2. Муромцев Д. Ю., Сысоев А. Н., Жуков В. М. Проблемы обеспечения надежной радиосвязи на Севере России // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2020. Т. 16, № 3. С. 46–53. DOI 10.25987/VSTU.2020.16.3.006.

3. Исследование особенностей организации VPN для предоставления удаленного доступа / М. М. Ковцур, А. В. Данышина, А. Д. Докшин, П. А. Потемкин // *Заметки ученого*. 2021. № 4-1. С. 76–80.

4. Кульбертинов А. А., Базаргулов Э. Э., Абрамов А. Х. Принцип работы VPN // *Инновации. Наука. Образование*. 2021. № 28. С. 1079–1093.

5. Хандогин В. Д. Передача данных через протокол TCP IP // *Системный администратор*. 2022. № 1-2(230-231). С. 128–131.

6. Jia X., Guo B. Reliability analysis for complex system with multi-source data integration and multi-level data transmission // *Reliability Engineering & System Safety*. 2022. Vol. 217. P. 108050. DOI 10.1016/j.res.2021.108050.

7. Родин Р. А. Система мониторинга качества услуг связи // *Вестник связи*. 2021. № 2. С. 27–31.

8. Шатов Л. Г. Исследование пропускной способности каналов связи в цифровых сетях // *Инфокоммуникационные технологии*. 2019. Т. 17, № 3. С. 303–307. DOI 10.18469/ikt.2019.17.3.06.

9. Zain-Aalabdain Al. N. Rationing the main parameters of the quality of network services // *T-Comm*. 2020. Vol. 14. No 11. P. 72-76. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-11-72-76.

10. Остроумов О. А., Синюк А. Д. Пропускная способность широкополосного канала связи // *Вестник компьютерных и информационных технологий*. 2019. № 9 (183). С. 33–42. DOI 10.14489/vkit.2019.09.pp.033-042.

11. Design and simulation of video monitoring structure over TCP/IP system using MATLAB / A. M. Abood, M. S. Hussein, Z. G. Faisal, Z. H. Tawfiq // *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2021. Vol. 24. No. 3. P. 1840-1845. DOI 10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1840-1845.

12. Shevgunov T. Software Implementation of Spectral Correlation Density Analyzer with RTL2832U SDR and Qt Framework / T. Shevgunov, E. Efimov // *Advances in Intelligent Systems and Computing* (см. в книгах). 2019. Vol. 986. P. 164-173. DOI 10.1007/978-3-030-19813-8_18.

13. Леваков А. К., Соколов Н. А., Федоров А. В. Влияние характера входящего потока IP-пакетов на допустимую загрузку узла коммутации // *Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал*. 2016. Т. 1, № 2(3). С. 21–25.

14. Гольдштейн А. Б. О механизмах фрагментации и сцепления пакетов в туннелях сети IP/MPLS // *Информация и космос*. 2015. № 1. С. 16–21.

15. Бахтиярова Е. А., Каргулова А. Н. Оценка отношения сигнал/шум дискретизации и восстановления речи // *Актуальные научные исследования в современном мире*. 2020. № 11-1 (67). С. 83–87.

16. Сухов А. М., Султанов Т. Г., Полукаров Д. Ю. Определение доступной пропускной способности IP-соединения на основе измерений для пакетов различного размера // *Электросвязь*. 2012. № 11. С. 39–42.

References

1. Grigoriev V. A., Raspaev Yu. A., Aksenov V. O. [Architecture of constructing heterogeneous radio networks]. *Elektrosvyaz*, 2017, no. 12, pp. 14-21 (in Russ.).

2. Muromtsev, D. Yu. [Problems of ensuring reliable radio communication in the North of Russia]. *Bulletin of the Voronezh State Technical University*, 2020, vol. 16, no. 3, pp. 46-53 (in Russ.). DOI 10.25987/VSTU.2020.16.3.006.

3. Kovtsur M. M., Danshina A. V., Dokshin A. D., Potemkin P. A. [Study of VPN organization features for remote access]. *Notes of a scientist*, 2021, no. 4-1, pp. 76-80 (in Russ.).

4. Kulbertinov, A. A. [VPN operation principle]. *Innovations. The science. Education*, 2021, no. 28. pp. 1079-1093 (in Russ.).

5. Khandogin, V. D. [Data transmission via TCP IP protocol]. *System administrator*. 2022. No. 1-2. Pp. 128-131 (in Russ.).

6. Jia X., Guo B. [Jia, X. Reliability analysis for complex system with multi-source data transmission integration and multi-level data]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2022, vol. 217, p. 108050. DOI 10.1016/j.res.2021.108050.

7. Rodin, R. A. [System for monitoring the quality of communication services]. *Vestnik svyazi*, 2021, no. 2, pp. 27-31 (in Russ.).

8. Shatov L.G. [Study of the bandwidth of communication channels in digital networks]. *Infocommunication technologies*, 2019, vol. 17, no. 3, pp. 303-307 (in Russ.). DOI 10.18469/ikt.2019.17.3.06.

9. Zain-Aalabdain Al. N. [Rationing the main parameters of the quality of network services] *T-Comm*, 2020, vol. 14, no. 11, pp. 72-76. DOI 10.36724/2072-8735-2020-14-11-72-76.

10. Ostroumov, O. A. [Bandwidth of a broadcast communication channel]. *Bulletin of Computer and Information Technologies*, 2019, no. 9 (183), pp. 33-42 (in Russ.). DOI 10.14489/vkit.2019.09.pp.033-042.

11. Abood A.M., Hussein M.S., Faisal Z.G., Tawfiq Z.H. [Design and simulation of video monitoring structure over TCP/IP system using MATLAB]. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2021, vol. 24, no 3, pp. 1840-1845. DOI 10.11591/ijeecs.v24.i3.pp1840-1845.

12. Shevgunov T. [Software Implementation of Spectral Correlation Density Analyzer with RTL2832U SDR

and Qt Framework]. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2019, vol. 986, pp. 164-173 (in Russ.). DOI 10.1007/978-3-030-19813-8_18.

13. Levakov A.K., Sokolov N.A., Fedorov A.V. [Influence of the nature of the incoming IP-packet flow on the permissible load of the switching node]. *Proceedings of TsNIIS. St. Petersburg branch*, 2016, vol. 1, no. 2 (3), pp. 21-25 (in Russ.).

14. Goldstein A.B. [On the mechanisms of packet fragmentation and chaining in IP/MPLS network tun-

nels] *Information and space*, 2015, no. 1, pp. 16-21 (in Russ.).

15. Bakhtiyarova E.A. [Evaluation of the signal-to-noise ratio of sampling and speech recovery]. *Actual scientific research in the modern world*, 2020, no. 11-1(67), pp. 83-87 (in Russ.).

16. Sukhov A.M., Sultanov T.G. and Polukarov D. Yu. [Determination of the available bandwidth of an IP connection based on measurements for packets of various sizes]. *Elektrosvyaz*, 2012, no. 11, p. 39-42 (in Russ.).

Determination of Packet Data Transmission Parameters when Working in the Meter Range

A. N. Kopysov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A. Yu. Shaimov, Postgraduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The article considers the possibility of organizing packet TCP/IP exchange in the channel of the frequency range from 30 to 300 MHz, as a basis for implementing a secure VPN connection between two subscribers within one of the communication network modes. The VPN connection, when considered, is a TCP/IP packet transmission, the only difference is that a new special header is attached to the original packet, as well as to the cryptographic encryption of the original packet. Hence, VPN tunnel can be represented as a TCP/IP connection.

TCP/IP protocol stacks are oriented to support high-speed interfaces operating at high frequencies (for example, Ethernet/Wi-Fi, speeds from 100 Gb/s, 2.4 GHz frequency). The main problem of such a packet implementation at relatively low frequencies (30-300 MHz) is the sufficient instability of mobile MV radio communication (communication in the meter wave range) at a given frequency range and low transmission rate (up to 32 Kb/s), as a result of which there may be a high probability of data bit errors, loss of information packets and huge time delays in the exchange. The Reno model is used as a model for evaluating packet transmission [rec. ITU-T Y.1541, RFC2001] and such regulated indicators [rec. ITU-T 1.1540, ITU-T Y.1541], as: channel bandwidth, signal-to-noise ratio (SNR), transmission delay (IPTD), transmission delay variation (IPDV), transmission error rate (IPER), packet loss rate (IPLR, SER), maximum packet transport unit (MTU). The simulation of a low-speed communication line with the characteristics: length up to 5 km, transmission speed from 300 bits/s to 32,000 bits/s (V.21 - V.34bis modem protocols), the sizes of transmitted packets is 72, 576 and 1500 bytes (threshold values of the maximum unit of packet transportation), transmitter power 2 W, the signal-code construction is a 4-FSK signal with Reed-Muller encoding RM(30, 14). Based on the analysis of the data obtained, three categories of channels were identified: "bad" – low signal-to-noise ratio (2-5 dB), high packet loss (above 10%) and long transmission delay (above 400 ms); "medium" – SNR from 5 to 10 dB, packet loss less than 1%, the delay varies from 400 to 800 ms; "good" is a channel passing through all regulated TCP/IP parameters, the OSH is more than 10 dB, the error probability is less than 0.1%, the delay fits into the regulated 400 ms.

Keywords: communication network, VPN tunnel, VHF radio communication, TCP/IP, packet size, transmission rate, bandwidth, packet loss probability.

Получено: 28.04.22