

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

**М. Г. Поляк, А. В. Мишуров**

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация*

*Рассматриваются методы оптимизации передачи информации в сетях спутниковой связи. Первый метод заключается в определении оптимальной длины передаваемого пакета данных. Принятый пакет на приемной стороне проверяется на наличие ошибок в нем, например, по контрольной сумме, содержащейся в служебной части передаваемого пакета. При обнаружении хотя бы одной ошибки идет команда передатчику на повторную передачу пакета данных. Автоматическое исправление ошибок путем кодирования в данной статье не рассматривается. С одной стороны, чем больше длина передаваемого пакета, тем больше вероятность ошибочной передачи хотя бы одного бита информации. С другой стороны, передача пакетов малой длины не эффективна ввиду того, что достаточно большую часть пакета составляет служебная информация. Оптимальная длина пакета зависит от вероятности ошибки на бит, технической скорости передачи и времени обработки сигналов в приемной аппаратуре.*

*Второй метод основывается на реальном неравенстве трафиков передачи информации Земля – низкоорбитальный космический аппарат (НКА) и НКА – Земля. В этом случае одна из радиолиний up или down, для работы которых используются различные несущие частоты, часть времени простаивает, особенно когда передается речевой трафик в телефонном режиме. Резерв повышения производительности состоит в уменьшении времени занятия канала за счет использования освободившегося направления для передачи оставшейся части большего сообщения во втором канале.*

*Ключевые слова: передача информации, спутниковые системы связи, скорость передачи данных.*

Как правило, в системах спутниковой связи используется пакетный режим передачи информации. В самом типичном виде формат пакета, переносящего сообщение между отправителем и получателем, содержит адрес, а также служебную информацию. Все составляющие пакета имеют фиксированную длину, кратную целому числу байт. Каждый принятый пакет проходит проверку на достоверность, и, если ошибка произошла, запрашивается повторная передача. Процедура повторяется до тех пор, пока пакет не будет принят верно.

Суть первого метода заключается в выборе оптимальной длины пакета согласно параметрам приемопередающей аппаратуры.

Введем параметры:

$N_{\text{ПАК}}$  – общая длина передаваемого пакета [бит], содержащего информационную и служебную информацию;

$N_{\text{ИНФ}}$  – длина информационного поля передаваемого пакета [бит];

$N_{\text{СЛУЖ}}$  – длина служебного поля передаваемого пакета [бит], в состав данного поля могут входить адреса отправителя и приемника ( $N_{\text{АДР}}$ ), контрольные суммы и биты кодирования ( $N_{\text{КОДИР}}$ ) в случае сверточного кодирования, кодирования Хаффмана, кодирования Шеннона или др.

$N_{\text{СЛУЖ}} = N_{\text{АДР}} + N_{\text{КОДИР}} = N_{\text{АДР}} + kN_{\text{ИНФ}}$ , (1)  
где  $k$  – скорость (коэффициент) кодирования, обычно равная 1/2, 3/4, 5/6.

$$N_{\text{ПАК}} = N_{\text{ИНФ}} + N_{\text{СЛУЖ}}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) выразим длину информационного поля через общую длину пакета:

$$N_{\text{ИНФ}} = \frac{N_{\text{ПАК}} - N_{\text{АДР}}}{1 + k}. \quad (3)$$

Вероятности повторной передачи пакета длиной  $N_{\text{ПАК}}$ , в случае если хотя бы один бит пакета передан с ошибкой:

$$P_{\text{ПОВТ}} = 1 - (1 - P_{\text{В}})^{N_{\text{ПАК}}}, \quad (4)$$

где  $P_B$  – вероятность ошибки на бит, относительная величина, зависящая от параметров приемопередающей аппаратуры и параметров среды передачи радиоволн.

Теперь запишем общую вероятность необходимости повторной передачи пакета с первой, второй, третьей и т.д. попыток с учетом того, что при  $P_{\text{повт}} < 1$  данная сумма образует сходящийся ряд геометрической прогрессии:

$$P_{\text{общ.повт}} = P_{\text{повт}} + P_{\text{повт}}^2 + P_{\text{повт}}^3 + \dots + P_{\text{повт}}^\infty = \sum_{i=1}^{\infty} P_{\text{повт}}^i = \frac{1}{1 - P_{\text{повт}}} - 1. \quad (5)$$

Запишем формулу среднего времени передачи пакета информации с учетом передачи с первой попытки, повторных передач и технических параметров:

$$T_{\text{ср.вр}} = (1 + P_{\text{общ.повт}}) \left( \frac{N_{\text{пак}}}{S_T} + T_{\text{пр.реш}} \right) = \frac{N_{\text{пак}} + S_T \cdot T_{\text{пр.реш}}}{S_T \cdot (1 - P_B)^{N_{\text{пак}}}}, \quad (6)$$

где  $S_T$  – техническая скорость передачи информации [бит/с];  $T_{\text{пр.реш}}$  – время принятия аппаратурой решения о необходимости повторной передачи [с].

С учетом формул (3), (5), (6) получим выражение для скорости передачи информационного поля пакета [бит/с]:

$$S_{\text{инф}} = \frac{N_{\text{инф}}}{T_{\text{ср.вр}}} = \frac{(N_{\text{пак}} - N_{\text{адр}}) \cdot S_T \cdot (1 - P_B)^{N_{\text{пак}}}}{(1 + k) \cdot (N_{\text{пак}} + S_T \cdot T_{\text{пр.реш}})}. \quad (7)$$

Нормируем скорость передачи информационного поля технической скоростью:

$$\frac{S_{\text{инф}}}{S_T} = \frac{(N_{\text{пак}} - N_{\text{адр}}) \cdot (1 - P_B)^{N_{\text{пак}}}}{(1 + k) \cdot (N_{\text{пак}} + S_T \cdot T_{\text{пр.реш}})}. \quad (8)$$

Построим зависимости отношения (8) от длины информационного поля пакета  $N_{\text{пак}}$  при разных вероятностях ошибки на бит  $P_B = 10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}$ . Для построения используем значения:  $N_{\text{адр}} = 128$ ,  $k = 0$ ;  $S_T = 8\,388\,608$ ;  $T_{\text{пр.реш}} = 10^{-6}$ .

Проанализируем полученные графики и заметим, что каждая кривая имеет точку максимума. Для того, чтобы найти эту точку, найдем производную и приравняем ее к нулю.

Решение уравнения  $\frac{d}{d(N_{\text{пак}})} \left( \frac{S_{\text{инф}}}{S_T} \right) = 0$  с нормировкой по максимальному значению длины информационного поля позволяет найти оптимальную длину пакета:

$$N_{\text{пак.опт}} = \left( N_{\text{адр}} \cdot \ln(1 - P_B) - S_T \cdot T_{\text{пр.реш}} \cdot \ln(1 - P_B) - \sqrt{\ln(1 - P_B) \cdot (N_{\text{адр}} + S_T \cdot T_{\text{пр.реш}}) \cdot (N_{\text{адр}} \cdot \ln(1 - P_B) + S_T \cdot T_{\text{пр.реш}} \cdot \ln(1 - P_B) - 4)} \right) / (2 \cdot \ln(1 - P_B)). \quad (9)$$

Используя формулу (9) для данных значений определим оптимальные длины пакетов при разных вероятностях ошибки на бит:

$P_B$	$N_{\text{пак.опт}}$
$10^{-4}$	1 230
$10^{-5}$	3 754
$10^{-6}$	11 740

Итог: используя оптимальную длину пакета (9) вместо фиксированного значения, можно существенно увеличить эффективность работы линии спутниковой связи, особенно при малых значениях вероятности ошибки на бит.

Рассмотрим второй метод увеличения производительности системы связи с НКА (низкоорбитальный космический аппарат), основанный на реально существующем неравенстве трафиков на трассах Земля – НКА и обратно. В этом случае одна из радиолиний up или down, для работы ко-

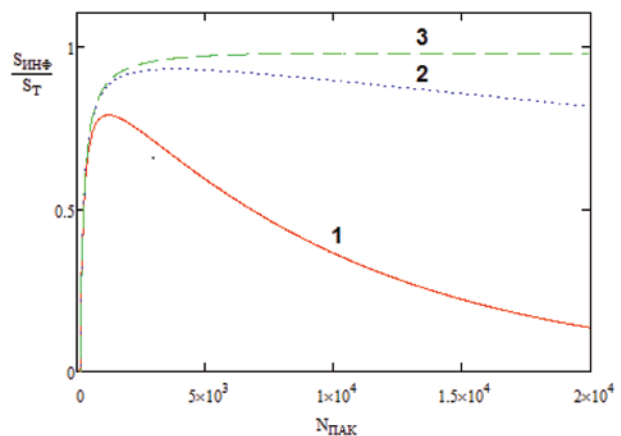


Рис. 1. Зависимость отношения скорости передачи информационного пакета к технической скорости от размера пакета при разных вероятностях ошибки на бит: 1 –  $P_B = 10^{-4}$ ; 2 –  $P_B = 10^{-5}$ ; 3 –  $P_B = 10^{-6}$

торых используются различные несущие частоты, часть времени простаивает, особенно когда передаётся речевой трафик в телефонном режиме.

Пусть  $N_1$  и  $N_2$  – объемы сообщений, которые предстоит передать, соответственно, от земной станции и с НКА. Условно будем считать, что  $N_1 > N_2$ . Максимальное время занятия канала  $T_{\text{МАКС}}$  определяется скоростью передачи информации  $R$  и значением в данном случае  $N_1$ :

$$T_{\text{МАКС}} = \frac{N_1}{R}. \quad (10)$$

Передача трафика в обоих направлениях начинается с момента входа НКА в зону радиовидимости, т.е. практически одновременно. Резерв повышения производительности состоит в уменьшении времени занятия канала за счет использования освободившегося направления для передачи оставшейся части большего сообщения во

втором канале. В момент времени  $\frac{N_2}{R}$  с начала передачи сообщений вторая линия передачи переключается с приема на передачу (или наоборот) и остаток большего по объему сообщения  $\frac{N_1 - N_2}{2}$  передается уже по двум каналам. Время передачи в этом случае

$$T_{\text{МИН}} = \frac{N_2}{R} + \frac{N_1 - N_2}{2 \cdot R} = \frac{N_1 + N_2}{2 \cdot R}. \quad (11)$$

При  $N_1 \gg N_2$   $\frac{T_{\text{МАКС}}}{T_{\text{МИН}}} = 2$ . Таким образом,

при существенном неравенстве трафиков в прямом и обратном направлениях, что часто встречается на практике, производительность системы связи может быть увеличена в 2 раза.

## Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. Изд. 2-е, испр. М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

## METHODS OF OPTIMIZATION OF INFORMATION TRANSMISSION IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS

**M. G. Polyak, A. V. Mishurov**

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation*

*The optimization methods of information transmission in satellite communication systems are passing in review. First method concludes in finding optimal length of transmitting data packet. Receiver searches errors in received data packet, for example using checksum, which contains in service part of data packet. If receiver detects at least one error, it reports command to resend data packet. Automatic error correction by decoder is not featured in this article. On one hand, the bigger length of data packet, the bigger probability of wrong transmission of at least one bit of information. On the other hand, transmission of small data packet is not effective because a quite big part of packet consists of service part. Optimal length of transmitting data packet depends of bit error ratio, technical speed of transmission and delay in receiver.*

*Second method found on real inequality of transmitting data traffics Ground – Satellite and Satellite – Ground. In this case one of up or down lines, which are using different carrying frequencies, is not in use for some time, especially when speech traffic is transmitting in telephone conversation. Reserve of increasing performance consists of decreasing occupation time of channel by using free line to transmit the rest bigger piece of packet in second channel.*

*Key words: data transmission, satellite systems of communication, data transmitting speed.*

## References

1. Sklyar B. Cifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye. [Digital communication. Theoretical bases and practical application] : per. s angl. Izd 2-e ispr. M. : Izdatelskij dom Vilyams, 2003. 1104 p.