

В.И. ГОРБАЧ, канд. техн. наук, М.В. КОЛОМИЕЦ

МАКСИМИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ МЕТЕОРНОЙ РАДИОСВЯЗИ

При решении многих задач связи важно получить максимальную пропускную способность, обеспечив вместе с тем заданную достоверность передаваемой информации. В метеорной радиосвязи на пропускную способность и достоверность влияют различные факторы. В данной статье рассмотрен оптимальный выбор параметров системы метеорной связи. При этом предполагается, что читатель знаком с работой [1]. В ней, в частности, отмечено, что мощность передатчика, несущая частота, вид модуляции и помехоустойчивый код не могут служить параметрами оптимизации, а выбираются исходя из назначения системы и практических возможностей.

Средняя пропускная способность системы метеорной связи описывается формулой

$$V = k \frac{N_6}{T_{\text{сп}}} = k \frac{N_{\text{ч}} \overline{l_{\text{пр}}}(v \leq m)}{3600}$$

Здесь k — число информационных бит в кодовом блоке; $N_{\text{ч}}$ — численность полезных метеоров; $\overline{l_{\text{пр}}}(v \leq m)$ — среднее количество блоков, принятых на одном метеоре с количеством ошибок не более m при l блоках, передаваемых в пакете.

Для определения численности метеоров используем экспериментальные данные и известные зависимости. Тогда при переходе от аппаратуры, для которой известна численность метеоров $N_{\text{ч}}^0$, к анализируемой аппаратуре численность полезных метеоров можно определить по формуле

$$N_{\text{ч}} = N_{\text{ч}}^0 \frac{[c/\text{ш}]_n^0}{[c/\text{ш}]_n} \sqrt{\frac{T_6}{T_6^0}} \sqrt{\frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{н}}^0}} \left(\frac{f^0}{f} \right)^{K_{Nf}}$$

где значение K_{Nf} равно 2,4.

Среднее количество блоков $\overline{l_{\text{пр}}}(v \leq m)$, принятых на одном метеоре с количеством ошибок не более m , зависит от размера пакета (количества кодовых блоков в пакете) l . Размер пакета l ограничивается требованиями к достоверности. Это объясняется тем, что применение помехоустойчивого кодирования позволяет определять ошибки, не превышающие обнаруживающей способности кода. Такие ошибки отражаются на пропускной способности, но не влияют на достоверность, поскольку в соответствии с протоколом искаженные кодовые блоки будут переданы повторно. Однако всегда существует вероятность того, что под воздействием шумов кодовый блок перейдет в другую разрешенную кодовую комбинацию и возникнет необнаруживаемая ошибка. При снижении отношения сигнал-шум ниже определенного значения вероятность такого перехода превышает максимально допустимое значение. Вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки тем меньше, чем выше избыточность помехоустойчивого кода (чем меньше k). С ростом размера пакета растет длительность служебной части пакета.

Проанализируем зависимость пропускной способности от указанных параметров более детально для конкретных типа модуляции и помехоустойчивого кода. Наиболее целесообразным представляется использование минимальной частотной модуляции (МЧМ) и символического двоичного кода Рида — Соломона РС (n, k). МЧМ-сигналы обладают узким спектром и высокой помехоустойчивостью при соответствующем методе обработки; коды Рида — Соломона обладают высокой скоростью и позволяют обнаруживать и исправлять групповые ошибки.

Для МЧМ вероятность битовой ошибки определяется зависимостью

$$p_1 = \frac{1}{2} e^{-(c/\pi)^2}$$

Тогда вероятность искажения символа

$$p_s = 1 - (1 - p_1)^{\log_2(n+1)},$$

где n — размер кодового блока в символах.

Вероятность возникновения в j -м кодовом блоке не более m ошибок

$$P_j(v \leq m) = \sum_{i=0}^m \frac{n!}{i!(n-i)!} p_{s_j}^i (1 - p_{s_j})^{n-i}.$$

Формулы для средней вероятности $\overline{P}_j(v \leq m)$ возникновения в j -м кодовом блоке не более m ошибок и среднего количества $\overline{l}_{\text{пр}}(v \leq m)$ блоков, принятых на одном метеоре с количеством ошибок не более m , приведены в [1].

Анализ зависимости пропускной способности от длительности бита показывает: величина $\overline{l}_{\text{пр}}(v \leq m)$ обратно пропорциональна длительности бита T_6 ; численность метеоров $N_{\text{ч}}$ пропорциональна $\sqrt{T_6}$; чем короче бит, тем выше пропускная способность. Но, поскольку с уменьшением длительности бита растет сложность приемопередающей аппаратуры и расширяется полоса частот, значение T_6 выбирается исходя из практических возможностей.

Обобщив сказанное выше, отметим, что параметрами оптимизации являются избыточность кода $r = n - k$, размер пакета l и пороговое отношение сигнал-шум $[с/ш]_n$. Процедура оптимизации реализована следующим образом: для корректирующей способности кода t , начиная с $t = 1$ ($r = 2$) определяются оптимальные пороговое отношение сигнал-шум и размер пакета. При этом размер пакета $l = j - 1$, где j — номер кодового блока, для которого вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки P_{ud} превышает максимально допустимую или отношение сигнал-шум ниже порогового. Затем процедура повторяется для следующего значения t . Если полученное значение пропускной способности меньше, чем для предыдущего значения t , то оптимальные значения r , l и $[с/ш]_n$ получены на предыдущем шаге.

Для выбранного кода вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки определяется формулой [2]

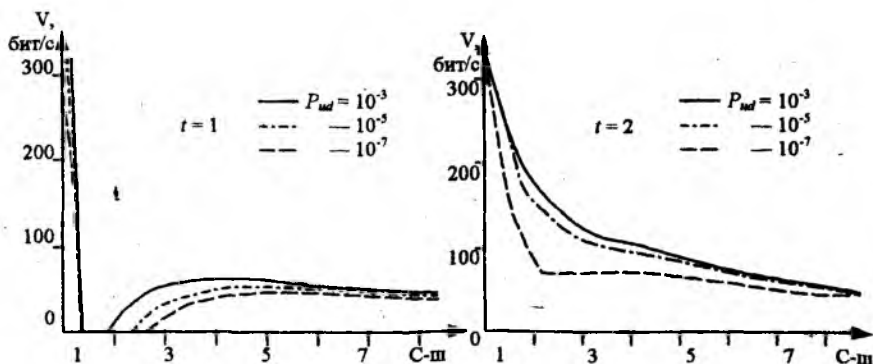
$$P_{ud} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n^i} p_s^i (1 - p_s)^{n-i},$$

где n_i — число кодовых слов веса i (спектр кода).

Спектр (n, k) -кодов Рида — Соломона известен; он имеет вид

$$A_i = \begin{cases} 1, & i = 0 \dots; \\ 0, & 1 \leq i \leq n-k; \\ C_n^i \sum_{h=0}^{i-1-(n-k)} (-1)^h C_i^h (q^{i-h-(n-k)} - 1), & n-k+1 \leq i \leq n. \end{cases}$$

На рисунке показаны зависимости пропускной способности V от порогового отношения сигнал-шум $[c/\text{ш}]_n$ при трех значениях максимальной вероятности возникновения необнаруженной ошибки $P_{ud} = 10^{-7}$ для двух значений корректирующей способности t для МЧМ-сигнала, кода РС (15, k) при $P_H = 350$ Вт, $T_6 = 100$ мкс и $f = 42,5$ МГц.



Реализованная процедура оптимизации позволяет получить оптимальные значения избыточности кода, размера пакета и порогового отношения сигнал-шум при заданных достоверности, несущей частоте, мощности излучения, типе сигнала, помехоустойчивом коде, длительности бита и длине трассы без учета протокола.

Список литературы: 1. Горбач В.И., Коломиец М.В. Метеорная радиосвязь. Специфика, достоинства, области применения. — См. статью в настоящем сборнике. 2. Кларк Дж., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1987. 392 с.

Харьковский государственный технический университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 25.02.99