

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ С ДВУСТОРОННИМ ПОИСКОМ УКВ ДИАПАЗОНА

к.т.н. О.П. Батаев, А.Е. Колесник
(представил проф. Е.А. Артеменко)

Предложены алгоритмы функционирования адаптивных систем радиосвязи, использующих двусторонний поиск каналов, и проведено их исследование по пропускной способности при воздействии аддитивных флуктуационных помех.

В настоящее время для служб железнодорожного транспорта разрабатываются адаптивные системы радиосвязи УКВ диапазона [1]. Спецификой работы передающих и приёмных устройств абонентов в таких системах является поиск каналов, обеспечивающих заданное качество обслуживания абонентов.

Для полного описания алгоритмов функционирования системы связи введем ошибки выявления маркера, а также ошибки приёма адресных кодограмм, связанные с влиянием аддитивных помех типа флуктуационного шума. Пусть в данных условиях $P_{лт}$ – ошибка первого рода (типа ложной тревоги), P_d – вероятность правильного декодирования маркера, $P_{ис} = 1 - P_d$ – ошибка второго рода (типа пропуска сигнала). Рассмотрим влияние помех на пропускную способность системы связи при двустороннем и одностороннем последовательном поиске каналов. При этом критерием оценки пропускной способности системы являются вероятность отказа системы, среднее число занятых каналов, выражающееся через интенсивность входного потока и интенсивность выходного потока.

Для двустороннего последовательного поиска с анализатором маркера характеристики первичных потоков приемника и передатчика описываются следующими выражениями:

$$T_{пм}^i = M \cdot (\tau_{пер-пм} + \tau_m + [1 - (iP_d + (M-i)P_{лт}) / M] \tau_{ож}) - \tau_{пер-пм}; \quad (1)$$

$$\mu_{пм}^i = 1 / (\tau_{пер-пм} + \tau_m);$$

$$T_{пд}^i = \kappa M (\tau_{пер-пд} + \tau_m + [1 - (iP_d + (M-i)P_{лт}) / M] \tau_{вк}); \quad (2)$$

$$\mu_{пд}^i = (N - 2i) \lambda_0,$$

где $T_{пм}^i$ – средняя продолжительность импульсов повторения при сканировании приемника (ПРМ) по каналам связи в соответствии с законом распределения продолжительности сканирования $\alpha_{пм}^i(\tau) = \delta(\tau - T_{пм}^i)$; $\mu_{пм}^i$ – средняя интенсивность потока импульсов повторения; $T_{пд}^i$ – средняя про-

должительность потока импульсов излучений передатчика (ПРД) с функцией распределения продолжительности $\alpha_{\text{пд}}^i(\tau) = \delta(\tau - T_{\text{пд}}^i)$; $\mu_{\text{пд}}^i$ – средняя интенсивность потока импульсов излучений; \mathbf{k} – число повторений кодограммы вызова по каналам связи; \mathbf{M} – количество каналов связи, доступных системе; \mathbf{N} – число абонентов; λ_0 – средняя интенсивность входного пуассоновского потока заявок на переговоры от каждого источника; \mathbf{i} – число занятых в системе каналов; $\tau_{\text{пер пм}}$ – время перестройки приёмника с канала на канал; $\tau_{\text{пер пд}}$ – время перестройки передатчика с канала на канал; $\tau_{\text{м}}$ – время анализа маркера; $\tau_{\text{ож}}$ – время ожидания приёмника на каждом канале для декодирования вызывной кодограммы; $\tau_{\text{вк}}$ – время передачи вызывной кодограммы на каждом канале связи вызывающим абонентом; $\delta(\tau)$ – δ -функция.

В выражениях (1) и (2) принято, что на \mathbf{i} -занятых каналах приёмник и передатчик находятся на протяжении времени $\tau_{\text{пер пм}} + \tau_{\text{м}}$ и $\tau_{\text{пер пд}} + \tau_{\text{м}}$ соответственно, с вероятностью $1 - P_{\text{д}}$, а также на протяжении времени $\tau_{\text{пер пм}} + \tau_{\text{м}} + \tau_{\text{ож}}$ и $\tau_{\text{пер пд}} + \tau_{\text{м}} + \tau_{\text{вк}}$ на $\mathbf{M} - \mathbf{i}$ свободных каналах с вероятностью $1 - P_{\text{д}}$.

Определим интенсивность потока совпадений времени передачи вызывной кодограммы и времени ожидания приемника:

$$\delta = M \left(\tau_{\text{пер пд}} + \tau_{\text{м}} + \left[1 - (i P_{\text{д}} + (M - i) P_{\text{лт}}) / M \right] \cdot \tau_{\text{вк}} \right);$$

$$\mu_{2,2} [j\delta + (j+1)\delta] = \mu_{\text{пд}}^i \cdot \mu_{\text{пм}}^i;$$

$$\mu_{2,2} [j\delta + T_{\text{пм}}^i] = \mu_{\text{пд}}^i \cdot \mu_{\text{пм}}^i (T_{\text{пм}}^i - T_{\text{пд}}^i)$$

где $j = 1, 2, \dots, \mathbf{k} - 1$;

Положим, что при совпадении по времени и частоте приемника и передатчика декодирование адресной кодограммы происходит с некоторой вероятностью $P_{\text{пд}} = 1 - P_{\text{ош}}$, где $P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибки при декодировании. Если совпадение частот приёмника и передатчика наблюдалось на двух каналах, то вероятность правильного декодирования на одном канале запишется выражением $P_{\text{пд}}^{(2)} = 1 - P_{\text{ош}}^{(2)}$. Тогда можно записать

$$\lambda_{i,i+1} = \sum_{j=1}^{\mathbf{k}} \mu_{2,2}(j) P_j P_{\text{пд}}^j, \quad (3)$$

где $\lambda_{i,i+1}$ – интенсивность потока переходов системы из состояния \mathbf{i} в $\mathbf{i} + 1$; P_j – вероятность того, что система останется в предыдущем состоянии.

Следовательно, с учётом (1) и (2) имеем

$$\lambda_{i,i+1} = \mu_{\text{пд}}^i \mu_{\text{пм}}^i \left\{ \frac{2T_{\text{пд}}^i}{\mathbf{k}} \left[\mathbf{k} - 1 - \sum_{j=1}^{\mathbf{k}-1} \left[P_{\text{ош}}^j + (i/M)^j - (P_{\text{ош}}^j \cdot i/M)^j \right] + \right. \right. \\ \left. \left. + (T_{\text{пм}}^i - T_{\text{пд}}^i) \cdot (1 - P_{\text{ош}}^{\mathbf{k}}) \cdot \left[1 - (i/M)^{\mathbf{k}} \right] \right] \right\}. \quad (4)$$

Для случая отсутствия анализа маркера формула приобретает вид

$$\lambda_{i,i+1} = \mu_{пд}^i \mu_{пм}^i \left\{ \frac{2T_{пд}^i}{\kappa} \left[\kappa - 1 - \sum_{j=1}^{\kappa-1} \left[P_{ош}^j + (i/M)^j - (P_{ош}^j \cdot i/M)^j \right] \right] + \right. \\ \left. + (T_{пм} - T_{пд}) \cdot (1 - P_{ош}^{\kappa}) \cdot \left[1 - (i/M)^{\kappa} \right] \right\}. \quad (5)$$

С учетом (4), (5), и [2], можно получить выражения для вероятности отказа и среднего числа занятых каналов:

$$P_{отк} = P_M + \sum_{i=0}^{M-1} P_i \left[1 - \frac{\lambda_{i,i+1}}{(N-2i) \cdot \lambda_0} \right] \cdot (1 - P_M),$$

где P_M – вероятность обнаружения маркера; P_i – вероятность нахождения системы в i -м состоянии;

$$\bar{m} = \sum_{i=0}^M i \cdot P_i.$$

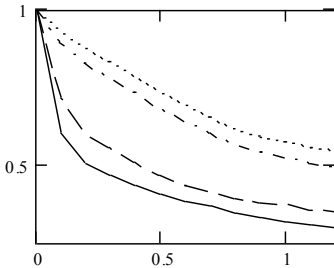


Рис. 1. Зависимость пропускной способности от величины нагрузки

Выражение для определения пропускной способности q определяется по следующей формуле:

$$q = 1 - P_{отк}.$$

На рис. 1, 2 приведены соответственно зависимости пропускной способности рассматриваемой системы и среднего числа занятых каналов от величины нагрузки ρ для одного и двух циклов сканирования передатчика. Параметры радиосредств составляют: $\tau_{пм} = 600$ мс; $\tau_{пд} = 100$ мс; $\tau_{пер пм} = \tau_{пер пд} = 100$ мс; $\tau_M = 50$ мс; $N = 30$; $M = 15$.

На рисунках изображены кривые, описывающие каналы со следующими параметрами:

$P_d = 0,9$; $P_{лт} = 0,2$; $P_{ош} = 0,01$; $\kappa = 1$ (сплошная линия);

$P_d = 1$; $P_{лт} = 0$; $P_{ош} = 0$; $\kappa = 1$ (пунктирная линия);

$P_d = 0,9$; $P_{лт} = 0,2$; $P_{ош} = 0,01$; $\kappa = 2$ (штрих-пунктирная линия);

$P_d = 1$; $P_{лт} = 0$; $P_{ош} = 0$; $\kappa = 2$

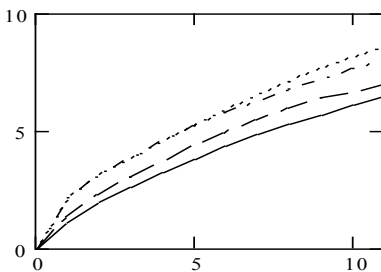


Рис. 2. Зависимость среднего числа занятых каналов как функция от нагрузки

(точечная линия).

Выражения (4) и (5) получены при условии образования каналов в до-

вольно узком диапазоне частот, поэтому ошибки выявления маркера и ошибки декодирования адресных кодограмм на каналах связи приблизительно одинаковы. Однако такое условие на практике выполняется не всегда, что вносит дополнительные ошибки при расчётах, которые необходимо учесть.

Пусть i – канал характеризуется величинами $P_{\text{Ф}}^i$, $P_{\text{Д}}^i$, $P_{\text{ош}}^i$. Считаем, что занято i первых каналов из M и, кроме того, выполняется условие $\sigma_{i+1}^2 \leq \sigma_{i+2}^2 \leq \sigma_M^2$, где σ^2 – дисперсия каналов связи. Это означает, что каналы связи ранжированы по порядку с помощью анализатора и пронумерованы. При этом нумерация не влияет на конечный результат, но упрощает математические выкладки.

Для рассмотренного алгоритма поиска характеристики первичных импульсных потоков приемных и передающих абонентов, которые организуют связь, могут быть определены с помощью выражений:

$$T_{\text{пд}}^i = \kappa \left\{ \begin{aligned} & \sum_{j=1}^i \left\langle \frac{P_{\text{Д}}^j (\tau_{\text{пер-пд}} + \tau_{\text{М}}) + (1 - P_{\text{Д}}^j) (\tau_{\text{пер-пд}} + \tau_{\text{М}} + \tau_{\text{вк}})}{1} \right\rangle + \\ & + \sum_{j=i+1}^M \left\langle \frac{P_{\text{ЛТ}}^j (\tau_{\text{пер-пд}} + \tau_{\text{М}}) + (1 - P_{\text{ЛТ}}^j) (\tau_{\text{пер-пд}} + \tau_{\text{М}} + \tau_{\text{вк}})}{1} \right\rangle \end{aligned} \right\}; \quad (6)$$

$$\mu_{\text{пд}}^i = (N - 2i) \cdot \lambda_0;$$

$$T_{\text{пм}}^i = \kappa \left\{ \begin{aligned} & \sum_{j=1}^i \left\langle \frac{P_{\text{Д}}^j (\tau_{\text{пер-пм}} + \tau_{\text{М}}) + (1 - P_{\text{Д}}^j) (\tau_{\text{пер-пм}} + \tau_{\text{М}} + \tau_{\text{вк}})}{1} \right\rangle + \\ & + \sum_{j=i+1}^M \left\langle \frac{P_{\text{ЛТ}}^j (\tau_{\text{пер-пм}} + \tau_{\text{М}}) + (1 - P_{\text{ЛТ}}^j) (\tau_{\text{пер-пм}} + \tau_{\text{М}} + \tau_{\text{вк}})}{1} \right\rangle \end{aligned} \right\} - \tau_{\text{пер-пм}}; \quad (7)$$

$$\mu_{\text{пм}}^i = (N - 2i) \cdot \lambda_0.$$

При расчете значений $\lambda_{i,i+1}$ необходимо в выражении (3) определить величины $P_{\text{Д}}^j$ по формуле

$$P_{\text{пд}}^j = 1 - P_{\text{ош}}^j, \quad (8)$$

где $j = 1, 2, \dots, \kappa$.

Подставляя (6) – (8) из (3), получим

$$\lambda_{i,i+1} = \mu_{\text{пд}}^i \mu_{\text{пм}}^i \left\{ \frac{2T_{\text{пд}}^i}{\kappa} \left[\kappa - 1 - \sum_{j=1}^{\kappa-1} \left\langle \frac{P_{\text{ош-и}}^{-j} + \left(\frac{i}{M}\right)^j - \left(\bar{P}_{\text{ош-и}} \frac{i}{M}\right)^j + (T_{\text{пм}}^i + T_{\text{пд}}^i) \cdot (1 - \bar{P}_{\text{ош-и}}^{\kappa}) \cdot \left[1 - \left(\frac{i}{M}\right)^{\kappa}\right]}{1} \right\rangle \right] \right\}. \quad (9)$$

В частности, при $P_{ош i} = P_{ош}$ выражение (9) переходит в (4) для предшествующего случая.

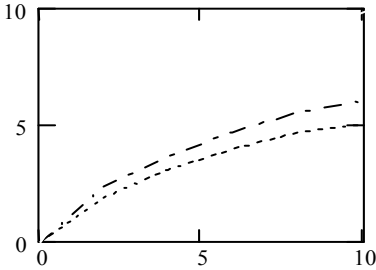


Рис.3. Зависимость пропускной способности системы от нагрузки

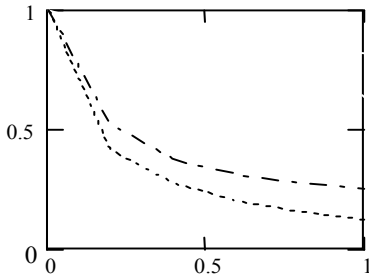


Рис. 4. Зависимость среднего числа занятых каналов от нагрузки при различных помехах в канале связи

ду абонентами. Также возможна сравнительная оценка адаптивных систем радиосвязи по пропускной способности и среднего числа занятых каналов.

На основании (9) на рис. 3, 4 представлены зависимости q и m для алгоритма одностороннего и двустороннего поиска как функции нагрузки ρ .

На рисунках изображены кривые, описывающие каналы со следующими параметрами:

$P_d = 0,9$; $P_{лт} = 0,2$; $P_{ош} = 0,01$;
двусторонний поиск (штрих-пунктирная линия);

$$P_d^j = 0,9 \cdot (1 - j/15);$$

$$P_{лт}^j = 0,2 \cdot (1 + j/15);$$

$P_{ош}^j = 0,01 \cdot j$; $j = 1, 2, \dots, 15$;
двусторонний поиск (точечная линия).

Полученные зависимости могут быть использованы при дальнейшем исследовании систем, использующих двусторонний поиск для установления радиосвязи между

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко Г.А. Перспективы развития электрической связи на железных дорогах России // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 4. – С. 6 - 9.
2. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решения. – М.: Наука, 1977. – 278 с.
3. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и её применение в радиотехнике. – М.: Сов. радио, 1977. – 496 с.
4. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы. – М.: Сов. радио, 1965. – 350 с.

Поступила 15.08.2002

БАТАЕВ Олег Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры ТС (транспортная связь) УкрГАЖТ. В 1966 году окончил Харьковское ВКИУ. Область научных интересов – теория передачи сигналов.

КОЛЕСНИК Алексей Евгеньевич, студент пятого курса факультета «Автоматика, телемеханика и связь» УкрГАЖТ. Область научных интересов – теория передачи сигналов.