

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО - ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

к.т.н. Е.В. Мерещенко, Е.В. Карманный
(представил д.т.н. проф. А.И. Погорелов)

Приводится анализ влияния частотно - временных рассогласований на работу информационно - измерительной радиотехнической системы (ИИРТС). Предлагаются программа и устройство, позволяющие моделировать процессы управления радиосистемой, уменьшить влияние частотно - временных рассогласований и ошибки работы каналов.

Реализация космической программы Украины связана с решением ряда научно-инженерных задач, важное место среди которых занимает проблема оптимизации ИИРТС.

Рассмотрим отношение сигнал/шум \mathbf{M} на входе ИИРТС, определяющее качество работы информационного канала [1]

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_0 \cdot \mathbf{R}^2(\xi), \quad (1)$$

где $\mathbf{R}^2(\xi)$ - квадрат амплитуды центрального пика автокорреляционной функции при наличии рассогласований ξ в устройствах формирования и обработки информации, обусловленные нестабильностью несущей частоты $d\omega$ (частотные рассогласования) и изменением масштаба времени α (временные рассогласования); \mathbf{M}_0 - отношение сигнал/шум при отсутствии рассогласований.

Соответственно, отношение (1) при частотных, временных и совместных частотно - временных рассогласованиях имеет вид

$$\mathbf{M}_{d\omega} = \mathbf{M}_0 \left(1 - \left(\frac{d\omega T}{2\pi} \right)^2 \right)^2, \quad (2)$$

$$\mathbf{M}_\alpha = \mathbf{M}_0 \left(1 - \left(\frac{\alpha \omega T}{2\pi} \right)^2 \right)^2 = \mathbf{M}_0 \left(1 - \left(\frac{2\alpha T}{t_0} \right)^2 \right)^2, \quad (3)$$

© к.т.н. Е.В. Мерещенко, Е.В. Карманный, 1998

$$M_p = M \cdot \left(1 - \left(\frac{d\omega T}{2\pi} \right)^2 \right)^2 \left(1 - \left(\frac{2\alpha T}{t_0} \right)^2 \right)^2. \quad (4)$$

На рис. 1 представлены зависимости (2 - 4) от длительности передаваемого символа информации T . Потери ограничены 1дБ, при которых $d\omega = 1,6$ кГц, а $\alpha = 1,27 \cdot 10^{-4}$ раз. Если $T = (3,48 \dots 4,44)$ мс, то M_p снижается до 2 и прием сигнала невозможен, так как M должно быть больше 60.

Подобные результаты (рис. 2) получены при анализе влияния частотно - временных рассогласований на вероятность ошибочного приема символа информации, которая определяет работу измерительного канала ИИРТС

$$P_{ош} = (\exp(-M/2)) / 2, \quad (5)$$

где M - отношения (2 - 4). Так, при $T = (2,80 \dots 4,73)$ мс $P_{ош}$ увеличивается до 0,5; а в ИИРТС эта вероятность должна быть не ниже $10^{-5} \dots 10^{-7}$. Это явление, аналогично снижению M делает невозможным достоверный прием сигнала.

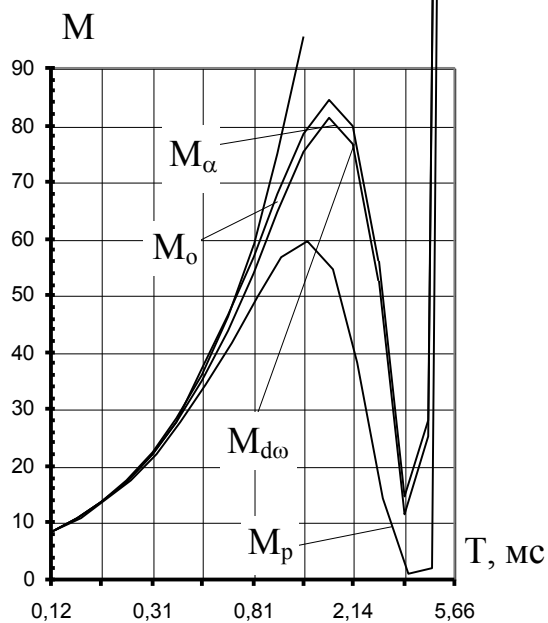


Рисунок 1 - Зависимость отношения сигнал/шум от длительности передаваемого сигнала

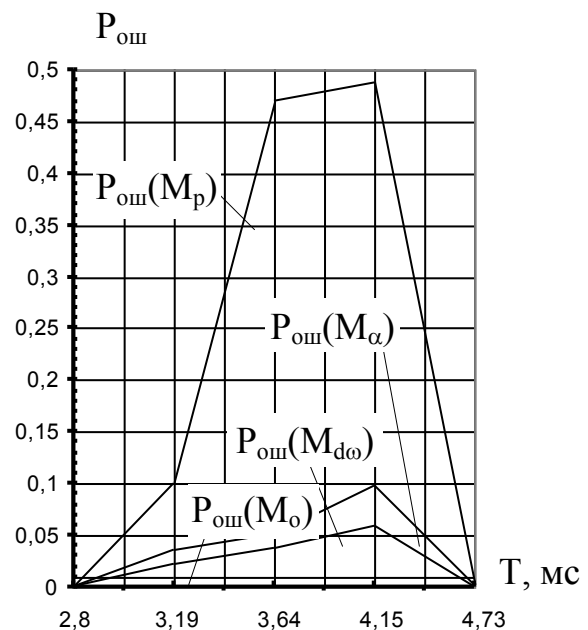


Рисунок 2 - Влияние частотно - временных рассогласований на вероятность $P_{ош}$

Следовательно необходим ряд мероприятий, исключающих использование указанных значений T . Для этого проведем оптимизацию выражения (5) по параметру T . С учетом отношений (2 - 4) перепишем (5) в виде

$$P_{\text{ош}} = \frac{1}{2} \exp \left\{ - \frac{1}{2} \frac{PT}{N_o} \left(1 - \left(\frac{d\omega T}{2\pi} \right)^2 \right)^2 \left(1 - \left(\frac{2\alpha T}{t_o} \right)^2 \right)^2 \right\}. \quad (6)$$

Используя процедуру нахождения экстремума, проведем логарифмирование (6) и возьмем дифференциал по T . В результате получим

$$\begin{aligned} 16t_o^4\pi^4 - 384t_o^2\alpha^2\pi^4T^2 + 1280\alpha^4\pi^4T^4 - 24t_o^4d\omega^2\pi^2T^2 + \\ + 320t_o^2\alpha^2d\omega^2\pi^2T^4 - 896\alpha^4d\omega^2\pi^2T^6 + 5t_o^2d\omega^4T^4 - \\ - 56t_o^2\alpha^2d\omega^4T^6 + 144\alpha^4d\omega^4T^8 = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Решив (7) приближёнными методами, получим выражение для оптимального значения длительности информационного символа

$$T = \sqrt{\frac{7(16\alpha^2\pi^2 + t_o^2d\omega^2) - \sqrt{49(16\alpha^2\pi^2 + t_o^2d\omega^2)^2 - 2880t_o^2\alpha^2d\omega^2\pi^2}}{36\alpha^2d\omega^2}}. \quad (8)$$

Подсчитав (8) для типовой ИИРТС, получим оптимальное $T = 4,683$ мс, которое необходимо реализовать в системе.

Так как современные ИИРТС оперируют дискретными сообщениями, то при решении вопросов оптимизации необходимо учитывать критерий максимальной вероятности правильного приема сообщения [2]. В свою очередь, приемник должен быть максимально помехоустойчив, а параметры движения космического аппарата (КА) должны определяться по собственному критерию. Налицо задача оптимизации по множеству критериев. В результате анализа принято решение использовать Байесовский критерий минимума среднего риска (дисперсии) при квадратичной функции потерь

$$\rho = \sigma^2 = \int \int_{\hat{\lambda}} \left(\lambda - \hat{\lambda} \right)^2 p(\lambda) p(\hat{\lambda}/\lambda) d\lambda d\hat{\lambda}. \quad (9)$$

Если λ считать вектором, содержащим параметры ИИРТС, то можно оценить качество ее функционирования. Выражение (9) для нормированной дисперсии суммарной ошибки ИИРТС представляет сумму ошибок работы дальномерного, скоростного и информационного каналов [3]

$$\sigma_{\Sigma H}^2 = \frac{\sigma_{\Sigma R}^2}{\sigma_{R_{\text{доп}}}^2} + \frac{\sigma_{\Sigma \dot{R}}^2}{\sigma_{\dot{R}_{\text{доп}}}^2} + \frac{\sigma_{\Sigma \hat{N}}^2}{\sigma_{\hat{N}_{\text{доп}}}^2}. \quad (10)$$

Основу дисперсий ошибок дальномерного и скоростного каналов составляют флуктуационные и динамические ошибки, а информационного - флуктуационные и ошибки квантования, следовательно, (10) имеет вид

$$\begin{aligned} \sigma_{\Sigma H}^2 = & \frac{c^2 t^2 (M_p + 2)}{8 M_p^2 \sigma_{R_{\text{доп}}}^2} + \frac{(\dot{R})^2}{\sigma_{R_{\text{доп}}}^2 16 (\Delta f_{\text{шR}})^2} + \frac{\lambda_0^2 \Delta f_{\text{шR}} (2M_p + 1)}{2\pi^2 M_p^2 \sigma_{R_{\text{доп}}}^2} + \\ & + \frac{(\ddot{R})^2}{\sigma_{R_{\text{доп}}}^2 16 (\Delta f_{\text{шR}})^2} + \frac{M^2}{6 \sigma_{\hat{N}_{\text{доп}}}^2} \exp\left(-\frac{1}{2M_p}\right) + \frac{1}{12 \sigma_{\hat{N}_{\text{доп}}}^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где t_0 - длительность тактового импульса; M - число уровней квантования; R - дальность до КА; M_p - отношение сигнал/шум (4).

Установлено, что оптимальное значение выражения (11) достигается при: $d\omega = 860,7$ Гц; эффективной шумовой полосе канала измерения дальности $\Delta f_{\text{шR}} = 10$ Гц, $\Delta f_{\text{шR}} = 140$ Гц; длительности информационного символа $T = 4,683$ мс.

Теперь возвратимся к задаче реализации полученного T в ИИРТС. Разработано устройство управления режимами функционирования радиосистемы (названное "сопроцессором"), которое подключается к ЭВМ ИИРТС и минимизирует суммарную ошибку [4]. Сопроцессор вычисляет величины $d\omega$, α , T - отношение (8); производит расчет ошибок работы каналов и суммарную ошибку радиосистемы (11). Эта ошибка сравнива-

ется в ЭВМ с допустимой ошибкой и принимается решение по дальнейшей работе ИИРТС - когда и какие выработать управляющие воздействия для ее аппаратуры.

На базе пакетов Pascal, MathCAD и Excel, разработана программа математического моделирования процесса управления функционирующей ИИРТС сопроцессором с максимальным устранением влияния частотно - временных рассогласований. Программа рассчитывает энергетический потенциал ИИРТС (2 - 4), вероятности (5), дисперсию (11) и строит графики (рис. 1 - 2). В зависимости от введенных начальных условий функционирования ИИРТС, ее тактико - технических характеристик, программа автоматически определяет параметры системы для обеспечения необходимых режимов работы последней и выдает управляющие сигналы либо для оператора, либо непосредственно в соответствующую аппаратуру. По результатам такого моделирования, без больших переделок системы, возможно обеспечение технических характеристик и режимов функционирования ИИРТС, наиболее приближенных к необходимым.

Таким образом, в результате проведенных исследований, получены оптимизированные структуры каналов ИИРТС, благодаря чему имеется возможность повышения точностных характеристик систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами.- М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.

2. Сильвестров С. Д., Васильев В. В. Структура космических измерительных систем. - М.: Сов. радио, 1979. - 224 с.

3. Хомяков Э.Н. Статистическая теория оптимальных радиотехнических систем. МО СССР, 1987. - 248 с.

4. Мерещенко Е.В., Карманый Е.В., Дремлюга А.В. Сопроцессор, оптимизирующий функционирование совмещенной радиотехнической системы с учетом взаимовлияния ее каналов // Труды междунар. науч.-техн. конф. "Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье" (microCAD'97). - В пяти частях. Ч.5. - Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц. ун-т, Магдебург. ун-т, 1997. - С. 88 - 91.