

У ДК 621.391.27

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ С ПРЕДЫСКАЖЕНИЕМ СИГНАЛОВ И ИДЕАЛЬНОГО КАНАЛА

Бабуров Э.Ф.

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок г. Севастополь, Украина, 99053

Определена удельная пропускная способность идеального канала связи. Найдена относительная скорость передачи информации для телефонного и вещательного каналов. Определена возможность повышения скорости передачи информации в системах с предискажением и коррективованием сигналов.

Пропускная способность гауссовского канала связи с ограниченной полосой пропускания и аддитивной белой помехой определяется известной формулой К.Шеннона

$$C = \Delta F \ln\left(1 + \frac{P_c}{\Delta F N}\right), \quad (1)$$

где ΔF – эффективная полоса пропускания системы, P_c – средняя мощность передаваемого сигнала, N – спектральная плотность мощности помехи.

В случае оптимального линейного предискажения стационарного

сигнала скорость передачи информации определяется выражением [1]

$$R = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \ln\left[1 + \frac{G'(\omega)}{N}\right] d\omega, \quad (2)$$

где $G'(\omega) = G(\omega)|K_1(j\omega)|_{opt}^2$ – спектральная плотность мощности на выходе предискажающего фильтра; $G(\omega)$ – спектральная плотность мощности предискажаемого сигнала; $|K_1(\omega)|$ – АЧХ оптимального предискажающего фильтра.

Большинство непрерывных и дискретных сигналов, используемых для передачи информации, обладают экспоненциальной функцией корреляции. Спектральная плотность мощности таких сигналов определяется как

$$G(\omega) = 2G(0) \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2}, \quad (3)$$

где α – постоянная, определяющая скорость экспоненциального спада

автокорреляционной функции; $G(0)$ – максимальное значение спектральной плотности мощности при $\omega = 0$. Относительная скорость передачи информации ρ , которая показывает какая часть пропускной способности канала достигается благодаря линейному предискажению и корректированию сигналов, полученная с учетом (2) и (3), связана с отношением сигнал-помеха и постоянной α следующими зависимостями [1]

$$\begin{aligned} \sqrt{1+y^2} \operatorname{arcsinh} y &= q + y, \\ \rho &= \frac{R}{C} = \frac{2(y - \operatorname{arctg} y)}{y \ln(1 + 2\pi \frac{q}{y})}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $y = \frac{\omega_{\max}}{\alpha}$, $q = \frac{P_{cp}}{\alpha N}$ – отношение сигнал-помеха, $\omega_{\max}$ – граничная частота спектра сигнала. Относительная скорость передачи информации для $q = 3 \dots 10$ имеет значение $\rho = 0,65$ и медленно уменьшается до величины $\rho = 0,5$ при $q \geq 10^4$.

Представляет интерес использовать идеальный канал в качестве

эталона при определении основных параметров реальных каналов связи

с предискажением и корректированием сигналов, оценки их

помехоустойчивости и пропускной способности путем сравнения с

аналогичными параметрами идеального канала.

Идеальным называют канал, который обеспечивает передачу

информации при минимально возможной энергии, необходимой для её

передачи. Идеальным может быть ещё определен канал, который имеет

максимальную пропускную способность при заданной средней

мощности сигнала [2-3]. В идеальном канале ограничение основных его

параметров обусловлено квантовой природой электромагнитного поля и

наличием теплового излучения. Таким образом, пропускная способность

и другие параметры реальных каналов связи всегда уступают идеальному из-за ограниченных возможностей передающей и приемной аппаратуры и воздействия помех. В работе [3] получено значение пропускной способности идеального канала в виде

$$C_i = \frac{\pi^2}{3h} kT \left(\sqrt{1 + \frac{P_c}{P_N}} - 1 \right), \quad (5)$$

где h – постоянная Планка; P_c – мощность сигнала; T – абсолютная температура; k – постоянная Больцмана; $P_N = \pi^2 (kT)^2 / 6h$ – мощность шума.

Установим соотношение между значениями пропускной способности реального и идеального каналов. При условии равенства в (1) и (5) отношений P_c/P_N получаем

$$\rho_c = \frac{C}{C_i} = \frac{3h \Delta F \ln(1 + q)}{\pi^2 kT \left(\exp\left(\frac{C}{2\Delta F}\right) - 1 \right)}. \quad (6)$$

Представляет интерес оценить степень совершенства конкретных каналов связи путем определения отношения их пропускной способности, приходящейся на единицу полосы, к удельной пропускной способности идеального канала при прежнем условии равенства отношений сигнал-помеха в реальных и идеальном каналах.

Для определения оценки удельной пропускной способности идеального канала необходимо знать его эффективную полосу пропускания. Спектр сигнала в идеальном канале простирается до бесконечности но с увеличением частоты ν при значениях $h\nu \geq kT$ он экспоненциально убывает. Эффективную полосу идеального канала ΔF_i определим из условия максимальной мощности шума на выходе идеального канала в режиме его согласования с нагрузкой

$$P_N = kT \Delta F_i. \quad (7)$$

Значение мощности шума идеального канала определено в работе [3], исходя из распределения М. Планка при равновесии теплового излучения, и составляет величину

$$P_N = \pi^2 (kT)^2 / 6h. \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) получаем эффективную полосу идеального канала

$$\Delta F_i = \pi^2 kT / 6h. \quad (9)$$

Соотношение (9) позволяет получить удельную пропускную способность идеального канала

$$C_{iy} = \frac{C_i}{\Delta F_i} = \frac{6h}{\pi^2 kT} C_i. \quad (10)$$

Принимая во внимание зависимость (5), окончательно получаем

$$C_{iy} = 2 \left(\sqrt{1 + \frac{P_c}{P_N}} - 1 \right). \quad (11)$$

Удельная пропускная способность реального канала

$$C_y = C / \Delta F. \quad (12)$$

Наряду с соотношением (6) важно определить отношение удельных пропускных способностей (12) и (11) реальных и идеального каналов $\rho_{cy} = C_y / C_{iy}$. В качестве примера определим отношение удельных пропускных способностей для наиболее известных каналов.

Канал ТЧ, используемый для передачи данных, речевого сигнала и факсимильной связи, характеризуется полосой пропускания $\Delta F = 3,1$ кГц и отношением сигнал-помеха $q \geq 3$. Пропускная способность такого канала согласно (1) составляет $C_T \geq 3,1 \cdot 10^3 \ln(1+3) = 4297,5$ нат/с. Учитывая, что 1 бит = 0,693 нат, получаем $C_T \approx 6200$ бит/с. Удельная пропускная способность канала ТЧ $C_{Ty} = C_T / \Delta F = 1,386$ нат/с · Гц = 2 бит/с · Гц. Удельная пропускная способность идеального канала, соответствующего каналу ТЧ, согласно (11) имеет значение $C_{iy} = 2(\sqrt{1+3} - 1) = 2$ нат/с · Гц = 2,88 бит/с · Гц. Отношение $\rho_{Ty} = C_{Ty} / C_{iy} = 2 / 2,88 = 0,69$. Значение $\rho_{Ty} = 0,69$ получаем и при передаче 2-х уровневого кода импульсами постоянного тока или 4-х уровневого кода модулированным сигналом с двумя боковыми полосами,

так как в этих случаях удельная пропускная способность также составляет $C_{Ty} = 2 \text{ бит/с} \cdot \text{Гц}$ [7].

Пропускная способность вещательного канала в соответствии с (1) имеет значение $C_B \geq 10 \cdot 10^3 \ln(1+10) = 2,398 \cdot 10^4 \text{ нат/с} = 34601,64 \text{ бит/с}$.
 $C_B \geq 34600 \text{ бит/с}$. Значение удельной пропускной способности вещательного канала $C_{By} = C_B / \Delta F \approx 2,4 \text{ нат/с} \cdot \text{Гц} = 3,46 \text{ бит/с} \cdot \text{Гц}$.
Удельная пропускная способность идеального канала, нормированного к вещательному с учетом (10) и в соответствии с (11), принимает значение

$$C_{iy} = 2(\sqrt{1+10} - 1) = 4,63 \text{ нат/с} \cdot \text{Гц} = 6,69 \text{ бит/с} \cdot \text{Гц}.$$

$$\text{Отношение } \rho_B = C_{By} / C_{iy} = 3,46 / 6,69 = 0,52.$$

Полученные значения отношений удельных пропускных способностей $\rho_T = 0,69$ и $\rho_B = 0,52$ представляют собой количественную оценку удельных пропускных способностей телефонного и вещательного каналов по сравнению с нормированной пропускной способностью идеального канала. Сравнивая полученные значения, приходим к выводу, что канал ТЧ несколько ближе к идеальному, чем вещательный канал, так как $\rho_T > \rho_B$. В совершенствовании вещательного канала, очевидно, имеется больше возможностей по сравнению с телефонным каналом.

Действительно, методы предсказания и корректирования сигналов позволяют увеличить скорость передачи информации. В соответствии с соотношениями (4) в широкополосных каналах этот эффект проявляется больше, чем в узкополосных. Применительно к рассмотренным телефонному и вещательному каналам эти соотношения подтверждаются практически.

Относительная скорость передачи информации в системах с предсказанием и корректированием согласно (4) зависит также от величины отношения сигнал-помеха. Предсказание сигналов обеспечивает повышение скорости передачи информации, приближая её к пропускной способности канала. При больших отношениях сигнал-помеха предсказание практически не изменяет скорости передачи при заданной пропускной способности.

Уменьшение отношения сигнал-помеха в канале связи в соответствии с (1) приводит к снижению пропускной способности. Предсказание сигналов позволяет согласно (4) увеличить скорость передачи информации. При этом с уменьшением отношения сигнал-помеха q растет эффективность предсказания сигналов.

Библиографический список

1. Маригодов В.К. Синтез оптимальных радиосистем с адаптивным предсказанием и корректированием сигналов / В.К. Маригодов, Э.Ф. Бабуров. — М.: Радио и связь, 1985. — 248 с.

2. Лебедев Д.С. Максимальное количество информации, переносимое электромагнитным полем / Д.С. Лебедев, Л.Б. Левитин // Докл. Акад. наук СССР. — 1963. — № 6. — С. 1299–1302.

3. Лебедев Д.С. Перенос информации электромагнитным полем / Д.С. Лебедев, Л.Б. Левитин // Проблемы передачи информации. — 1965. — Т. 1. — Вып. 3. — С. 5–20.

Поступила в редакцию 4.01.2002 г.