

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ

А. Ф. Панов, В. В. Свиридов

Харьков

При организации систем связи часто встречаются общие, независимые от принципов построения вопросы, например, достоверность и скорость передачи, техническая сложность системы и т. д. Многообразие принципов построения систем связи и способов технического осуществления неизбежно приводит к тому, что в одних системах лучше решаются одни вопросы и хуже другие, в других — наоборот. Поэтому нужен определенный метод, пригодный для сравнения разных систем, учитывающий их положительные и отрицательные стороны. Существующие критерии сравнения не решают этого вопроса. Обычно системы связи сравниваются на основе критерия скорости передачи информации R , отнесенной к полосе частот, занимаемой в канале связи [1, 2, 4]

$$R_F = \frac{R}{F} = \frac{\log N}{TF}, \quad (1)$$

где T — время, необходимое для передачи информации;

N — число возможных состояний системы, каждому из которых может соответствовать свое сообщение;

$\log N$ — количество информации в сообщении по Хартли при независимости и равновероятности сообщений.

Этот критерий учитывает в первую очередь параметры R , F и характеризует эффективность использования канала связи строго по электрическим параметрам. Такие параметры, как достоверность и техническая сложность, учитываются слабо.

На практике часто приходится сравнивать системы связи по комплексу параметров.

В работе [6] предлагается характеризовать систему связи соотношением

$$V = T_R T_M T_T \{\bar{u}\},$$

где $\{\bar{u}\}$ — совокупность возможных сообщений на передающем конце системы;

$\{\bar{v}\}$ — совокупность принятых сообщений;

T_T — преобразования, соответствующие операциям кодирования;

T_M — преобразования, отвечающие влияниям канала связи на передаваемый сигнал;

T_R — преобразования, соответствующие операциям, выполняемым приемником.

Согласно статье [6] главная задача оптимальной системы связи состоит в достижении максимально возможного тождества между принятой совокупностью $\{\bar{v}\}$ и исходной $\{\bar{u}\}$ при минимальных затратах (стоимости). При этом системы связи сравниваются на основе байесовой теории. Этот критерий также не охватывает всего комплекса требований,

предъявляемых к системе связи, и довольно сложен для практического применения.

Критерий, предложенный в работе [7], более удачен, чем критерий скорости передачи [1, 2, 4], и менее сложен, чем критерий Миддлтона [6].

Все упомянутые критерии оценки систем связи имеют один общий недостаток: все они выражаются через сугубо определенный комплекс параметров. В случае маловажности одного или нескольких из них критерий теряет практический смысл. Например, если для системы связи заданы достоверность передачи и полоса пропускания канала связи, то к ней практически нельзя применить критерий скорости передачи.

Ниже предлагается более универсальный критерий оптимальности систем связи. Этот критерий сводится к тому, что из всех систем связи, каждая из которых может иметь положительные и отрицательные качества, оптимальной считается та, которая лучше всего удовлетворяет заданным требованиям. Таким образом, условие оптимальности зависит также от исходных требований. Таких требований может быть несколько: одни из них — определяющие, основные, другие — второстепенные.

Весь комплекс параметров системы связи можно разбить на два класса: параметры, значения которых усиливают положительные качества системы, и параметры, значения которых усиливают ее отрицательные качества. Первые параметры назовем положительными (скорость передачи, достоверность, надежность и т. д.), вторые — отрицательными (сложность, стоимость и т. д.). В общем случае эти требования являются противоречивыми. Например, для борьбы с помехами в канале связи применяется в основном метод избыточной структуры канала связи. Он является мощным средством организации помехозащищенной системы связи высокой степени и предусматривает введение некоторой избыточной структуры (кодирование и декодирование устройства, устройства накопления и сравнения, канал обратной связи и т. д.).

Введение избыточности увеличивает достоверность передачи и почти всегда значительно усложняет систему связи (противоречие между требованиями к достоверности и технической сложности). Поэтому целесообразно весь комплекс требований к системе задать одним совокупным параметром F_0 , выражаемым через положительные качества x_i и отрицательные y_j . Таким образом, совокупный параметр F_0 будет прямо пропорционален совокупности положительных параметров и обратно пропорционален совокупности отрицательных параметров. Совокупность положительных и отрицательных параметров представим как суммы безразмерных абсолютных значений положительных и отрицательных параметров соответственно. Тогда имеем

$$F_0 \sim \frac{\sum_{i=1}^{k_1} x_i \eta_i^{-1}}{\sum_{j=1}^{k_2} y_j \xi_j^{-1}}, \quad (2)$$

где η_i и ξ_j — единицы измерения параметров i и j соответственно;
 k_1 и k_2 — число положительных и отрицательных параметров соответственно;

$$i = 1, 2, \dots, k_1, j = 1, 2, \dots, k_2.$$

Так как каждый из параметров x_i и y_j играет важную роль (имеет определенный вес) в системе заданных требований, то в соотношении (2) каждый из них должен быть перемножен на свой весовой коэффициент a_i и b_j .

Тогда соотношение окончательно примет вид

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{k_1} a_i x_i r_i^{-1}}{\sum_{j=1}^{k_2} b_j y_j \xi_j^{-1}}. \quad (3)$$

Требования к системе связи, как указано выше, противоречивы, поэтому весовые коэффициенты целесообразно нормировать следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j=1}^{k_2} (\eta_i^{-1} a_i + \xi_j^{-1} b_j) = C = \text{const}. \quad (4)$$

В принципе C — произвольная постоянная величина. Из уравнений (3) и (4) видно, что при выборе весовых коэффициентов более важным требованиям должны отвечать более высокие коэффициенты, а менее важным — менее высокие. Среди сравниваемых вариантов систем связи, предназначенных для выполнения одних и тех же целей, наилучшим следует считать, вариант, который обеспечивает более высокое значение F_0 .

Определение важности того или иного параметра само по себе субъективно. Поэтому абсолютные значения весовых коэффициентов находятся также из субъективных соображений. Вообще эти коэффициенты должны быть заданы в исходных данных для разработки системы связи.

В соответствии с равенством (3) параметры x_i и y_j определяются по известным методам [3, 5]. При этом важно, чтобы для всех сравниваемых вариантов соответствующие вычисления производились в одних и тех же единицах измерения.

Приведем пример сравнения двух вариантов систем связи по предлагаемому критерию. Пусть нужно разработать систему связи, для которой более важным является вероятность правильного приема P_{nn} и техническая сложность системы $C_{\text{тех}}$ и менее важным — скорость передачи R . Тогда выражения (3) и (4) примут вид

$$F_0 = \frac{a_1 P_{nn} + \eta a_2 R}{\xi^{-1} b C_{\text{тех}}}, \quad (3a)$$

$$a_1 + \eta^{-1} a_2 + b \xi^{-1} = 1. \quad (4a)$$

В соответствии с уравнением (4a) весовые коэффициенты a_1 , a_2 и b выбираем, исходя из степени важности требований, предъявляемых к системе. Чем больше различие в степени важности требований, тем больше разница в соответствующих весовых коэффициентах. Однако на практике абсолютные значения коэффициентов не играют роли. Важно лишь то, чтобы коэффициенты для более важных требований были больше коэффициентов для менее важных требований. Берем

$$a_1 = b = 0,45, \quad a_2 = 0,1. \quad (5)$$

Еще раз отметим, в принципе можно выбрать в качестве a_1 , a_2 и b любые числа с тем, чтобы для данного случая имело место соотношение

$$a_1 = b > a_2.$$

Величины P_{nn} , R вычисляются с помощью известных формул [1, 2, 3]. Значение $C_{\text{тех}}$ можно определить по методике [5]. Однако, как

было отмечено, величины x_i и y_j можно вычислить в условных единицах измерения, одинаковых для всех сравниваемых вариантов.

Поэтому их можно выразить через количество основных логических узлов (распределители, элементы или узлы линии задержки и т. д.) или других более «дефицитных» узлов и блоков.

Вариант I: $P_{nn1} = 0,999$; $R_1 = 0,5$; $C_{\text{тех}} = 11$ об. ед.

Вариант II. $P_{nn2} = 0,995$; $R_2 = 0,4$; $C_{\text{тех}} = 9$ об. ед.

Здесь скорость передачи R определена как отношение информационных разрядов k к общему числу разрядов n). Используя соотношения (5), (6) и (3а), получаем

$$F_{01} = 0,108,$$

$$F_{02} = 0,124.$$

($F_{02} > F_{01}$). Следовательно, по выбранному критерию вариант II удовлетворяет лучше заданным требованиям, чем вариант I.

Таким образом, предлагаемый критерий оптимальности систем связи выражается простым математическим соотношением. Он позволяет путем несложных вычислений сравнивать между собой разные системы связи на наилучшее соответствие их заданным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Бахметьев, Р. Р. Васильев. Информационные критерии оценки телеизмерительных систем. «Автоматика и телемеханика», т. XVIII, № 4, 1957.
2. В. А. Ильин. Определение эффективности передачи телемеханической информации. «Автоматика и телемеханика», т. XXIII, № 6, 1962.
3. Р. Р. Васильев, Г. А. Шастова. Передача телемеханической информации, Госэнергоиздат, 1960.
4. Н. В. Позин. Эффективность передачи информации в телеизмерении. «Автоматика и телемеханика», т. XXII, № 9, 1961.
5. Н. А. Филиппов. О взаимосвязи сложностей сигналов и аппаратуры систем телеизмерения. «Автоматика и телемеханика», т. XXIII, № 12, 1962.
6. Д. Миддлтон. Очерки теории связи. Пер. с англ. под ред. Б. Р. Левина. Изд-во «Советское радио», 1966.
7. Г. П. Захаров. Эффективность систем связи. «Электросвязь», 1967, № 12.