

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЕТЕОРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Введение

В статье [1] кратко рассмотрена существующая в НУЦ РТ метеорная система передачи информации (МСПИ). Дальнейшей задачей является совершенствование системы, придание ей современного духа и новых функций.

В качестве одного из примера «идеалов», к которому можно стремиться, возьмем подобную систему [2]. В указанной статье описана полученная система пакетного радиообмена со всеми особенностями, присущими компьютерным сетям.

Прототип системы передачи информации

В статье [2] приведен достаточно подробный отчет реализации метеорной сети передачи данных на базе программно управляемых устройств цифровой обработки сигналов. Достоинством статьи является то, что она рассматривает сеть – пусть и из двух пунктов – полностью, начиная с выбора сигнала, модели метеорного канала и обоснования метода модуляции и заканчивая протоколом обмена между станциями и обработкой результатов экспериментов. В рассматриваемой системе расстояние между станциями 732 км, излучаемая мощность 300 Вт на частоте 48.375 МГц с максимальной полосой частот 16 кГц. В качестве антенн использован пятиэлементный волновой канал. Использована дифференциальная М-арная фазовая манипуляция, данные перед отправкой организуются в пакеты по k бит ($k = \log_2 M$). Используется динамическая оценка параметров канала и переменная скорость передачи. Приведен протокол управления сетью, основанный на методе глобальных зондов.

Компьютерные сети. Параметры качества обслуживания (QoS)

В компьютерных сетях существуют разные подходы для обеспечения качества услуг по доставке информации потребителю [3]. В разных системах потребитель вправе потребовать не все из приведенного списка параметров, но их список таков:

- параметры скорости – средняя скорость, максимальная скорость, минимальная скорость;
- параметры неравномерности скорости передачи – максимальный размер пульсации;
- параметры задержки – задержка передачи пакетов, вариация задержки пакетов;
- доля потерянных ячеек.

В принципе, в компьютерных сетях, используя параметры качества обслуживания, если они обеспечиваются сетью, можно добиться качества, необходимого для разных сервисов, для передачи данных разной природы и разного назначения. Например, для передачи терминальной информации может не требоваться высокая скорость, но настоятельно необходимо, чтобы доля потерянных пакетов была равной нулю, чего можно относительно дешево добиться путем запроса повторной передачи. С другой стороны, при передаче мультимедийной информации (речи или живого видео) критичным параметром является не только время задержки пакетов, но и его вариация. При этом повторная передача может оказаться бессмысленной, а, с другой стороны, требования к качеству несколько снижаются – полная безошибочная передача каждого бита не является столь уж необходимой.

В текущем варианте разрабатываемой системы транспортный уровень (с гарантированной доставкой) не предполагается к реализации, оставим его для дальнейших разработок. В таком варианте на транспортном уровне не предусматривается контроль пропавших пакетов. Другими словами, рассмотрению подлежат физический и канальный (в терминологии компьютерных сетей) уровни.

Далее, в разрабатываемой системе выбору, обоснованию и реализации подлежат блоки кодирования и модуляции (со своими ответными частями демодуляции и декодирования).

Обзор методов кодирования и модуляции для решения задачи построения хотя бы субоптимальной системы МСПИ заслуживает отдельной статьи. Но, представляется нам, что для успешного построения требуемой по качеству МСПИ необходимо выбрать и обосновать выбор критериев качества системы. Нас будут интересовать как критерии системы в целом, так и ее подсистем.

Обзор параметров систем связи и критериев их качества

Обычно в системах связи рассматривают [3, 4] следующие параметры.

Обобщенной характеристикой непрерывного канала является его *емкость* (объем):

$$V_R = T_R \cdot F_K \cdot D_K, \quad (1)$$

где V_K – объем канала, эквивалент импульсного объема, но для канала, T_K, F_K, D_K – длительность, полоса частот и динамический диапазон канала соответственно. Необходимым условием неискаженной передачи по каналу сигналов с объемом V_C должно быть

$$V_C \leq V_K, \quad (2)$$

Сигнал считается согласованным с каналом. В простейшем случае сигнал согласован с каждым из параметров из (1):

$$T_C \leq T_K; F_C \leq F_K; D_C \leq D_K, \quad (3)$$

однако (2) может выполняться и при условии, когда одно или два из неравенств (3) не выполнены. Это означает, что можно производить «обмен» длительности на ширину спектра или ширину спектра на динамический диапазон и т.д. Значительный интерес представляет возможность обмена динамического диапазона на полосу пропускания.

Основные характеристики системы связи – параметры точности и скорости, определяющие качество и количество передаваемой информации. В правильно спроектированной системе передачи качество определяется лишь воздействием помех. В этом случае качество передачи определяется *помехоустойчивостью*. Количественно эта характеристика может быть оценена степенью соответствия полученного сообщения $\hat{b}(t)$ переданному $b(t)$, например, достаточно часто используют критерий среднего квадратичного отклонения

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (\hat{b}(t) - b(t))^2 dt. \quad (4)$$

Количественную меру можно также определить как вероятность того, что уклонение ε не превысит некоторой заранее заданной величины ε_0 :

$$Q = P\{\varepsilon \leq \varepsilon_0\}. \quad (5)$$

Помехоустойчивость определяется, прежде всего, соотношением сигнал/шум.

Пропускная способность системы R_{MAX} – максимальная скорость передачи, допускаемая данной системой связи без ошибок:

$$R = \frac{1}{T} \log_2 m, \quad (6)$$

где m – основание двоичного кода. В данном случае скорость передачи дана в *бит/с*.

Под *пропускной способностью канала* принято понимать максимальное количество переданной по каналу информации

$$C = \frac{1}{T} \cdot \max_{P(A)} I(A, B), \quad (7)$$

где $I(A, B)$ – количество информации в расчете на один символ, A и B – случайные символы на входе и выходе канала

Под *задержкой* (или временем доставки) понимают максимальное время между моментом подачи сообщения от источника на вход передающей части и моментом выдачи восстановленного сообщения приемным устройством.

Количество информации, содержащееся в сообщении, определяется степенью его неопределенности. Неопределенность до передачи сообщения характеризуется априорным распределением возможных сигналов $P(A_i)$, $i = \overline{1..m}$. Предполагается, что между сообщениями $\{u_k\}$ и передаваемыми сигналами $\{A_R\}$ существует однозначное соответствие. После приема сообщения остается некоторая неопределенность, которая характеризуется апостериорным распределением $P(A_i|X_j)$, $i = \overline{1..m}$, $j = \overline{1..m}$. Тогда, количество принятой информации определяют как разность неопределенностей

$$I(A_i, X_j) = \log \frac{1}{P(A_i)} - \log \frac{1}{P(A_i|X_j)}. \quad (4)$$

Здесь $I(A_i, X_j)$ – количество информации, содержащейся в принятом сигнале X_j относительно переданного сигнала A_i . Скорость передачи информации по каналу с шумами, в предположении, что все сигналы имеют одинаковую длительность T ,

$$R = \frac{I(A_i, X_j)}{T}. \quad (5)$$

Пропускная способность системы C – максимум R .
Для бинарного канала

$$C = \frac{1}{T} (1 + P_0 \log P_0 + (1 - P_0) \log (1 - P_0)), \quad (6)$$

где P_0 – вероятность ошибочного приема элементарного сигнала. Для m -позиционного сигнала, передаваемого по симметричным каналам связи,

$$C = \frac{1}{T} \left[\log m + P_0 \log \frac{P_0}{m-1} + (1 - P_0) \log (1 - P_0) \right]. \quad (7)$$

Для непрерывного канала пропускная способность при наличии флуктуационной аддитивной помехи с равномерным энергетическим спектром, определяется соотношением Шеннона

$$C = F \log (P_c / N_0 + 1), \quad (8)$$

где P_c / N_0 – соотношение средних мощностей сигнала и помехи на входе приемного устройства, F – полоса частот передаваемого сообщения.

Помехоустойчивость системы связи может быть оценена с помощью такой величины, как *точность воспроизведения*

$$r = \iint p(b(t), \hat{b}(t)) \rho(b(t), \hat{b}(t)) db d\hat{b} = \iint p(b(t)) p(\hat{b}(t)|b(t)) \rho(b(t), \hat{b}(t)) db d\hat{b}, \quad (9)$$

где $p(b(t), \hat{b}(t))$ – плотность вероятности, полностью определяющая свойства системы по точности, $\rho(b(t), \hat{b}(t))$ – функция потерь. Функция $\rho(b(t), \hat{b}(t))$ обычно выбирается в виде

$$\rho(b(t), \hat{b}(t)) = 1 - \delta(b(t) - \hat{b}(t)) \quad (10)$$

или

$$\rho(b(t), \hat{b}(t)) = (b(t) - \hat{b}(t))^2. \quad (11)$$

Тогда среднеквадратическая ошибка (1) переписывается в виде (9).

Относительная ошибка определится как отношение

$$E = \frac{\varepsilon^2}{P_m} = \left(\int_0^{F_m} \sigma^2(f) df \right) / \left(\int_0^{F_m} P_m(f) df \right) \quad (12)$$

где F_m – полоса пропускания приемного устройства по низкой частоте, P_m – средняя мощность сигнала на выходе приемника. Во многих случаях от системы связи требуется передача сообщения $b(t)$ с точностью до произвольного множителя k и произвольного сдвига во времени τ . В этом случае,

$$\varepsilon^2 = \min_{k, \tau} \left\{ \left[b(t) - k \cdot \hat{b}(t - \tau) \right]^2 \right\} \quad (13)$$

Вместо E иногда пользуются логарифмической мерой точности:

$$S_m = 10 \lg \frac{1}{E} = 10 \lg \frac{P_m}{N_m}, \quad (14)$$

Численно равной соотношению сигнала к помехе на выходе приемника, выраженному в децибелах. Для практических расчетов также используется *выигрыш* системы в соотношении сигнал/ помеха:

$$B = S_m / S. \quad (15)$$

В монографии [4] рекомендуется строить соотношения не мощности сигнала и мощности помехи, а соотношения соответствующих спектральных плотностей

$$B' = B / \nu \quad (16)$$

где $\nu = F/F_m$ – отношение полос частот на входе и выходе приемника.

Критерий (9) записан для систем передачи непрерывных сообщений, но может быть сконструирован аналогичный по смыслу критерий для дискретных сообщений.

Обобщенные характеристики систем связи

Добротность системы связи Q определяется как произведение относительной помехоустойчивости g на относительную скорость передачи η :

$$Q = g \cdot \eta. \quad (17)$$

Наиболее общим выражением для удельной помехоустойчивости является оценка

$$g = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}, \quad (18)$$

а удельной скорости передачи – коэффициент использования пропускной способности канала

$$\eta = R/C. \quad (19)$$

И, наконец, для оценки эффективности системы используют *коэффициент использования канала по мощности* β (энергетическую эффективность) и *коэффициент использования канала по полосе частот* γ (частотную эффективность)

$$\beta = \frac{R}{P_c/N_0}, \quad (20)$$

$$\gamma = \frac{R}{F}, \quad (21)$$

а обобщенная характеристика эффективности систем связи – $\eta = R/C$. С учетом формулы Шеннона,

$$C = \gamma / \log_2 \left[\frac{\gamma}{\beta} + 1 \right]. \quad (22)$$

В работе [6] критически оцениваются перечисленные выше критерии. По мнению автора, перечисленные критерии учитывают небольшое число параметров. Применение в качестве параметров системы связи информационных характеристик недостаточно обоснованно. И теоретически не оправдано построение критерия на основе перемножения величин параметров систем связи. В [6] рассматриваются и более сложные критерии:

$$E = \log_2 \frac{P/P_{\Pi}}{(T_{\Pi}/T) + \mu(C_{\Pi}/C)},$$

где P и T – соответственно вероятность ошибочного приема элемента сообщения и средняя продолжительность кодовой комбинации до применения способа повышения достоверности, параметры с индексом « Π » – те же величины после применения способа повышения достоверности; C_{Π} и C – число элементов аппаратуры соответственно с устройством повышения достоверности и без него, μ – весовой коэффициент. Критерий E – пример попытки учесть фактор сложности аппаратуры, недостаток, по мнению автора [6], в произвольном формировании выражения (2).

Для оценки качества систем связи можно использовать критерий, см. [6], определяемый как сумма взвешенных слагаемых:

$$\gamma = \sum_n \beta_n \eta_n, \quad (23)$$

где η_n – параметры систем связи, β_n – весовые коэффициенты. Критерий удобен, но выбор весовых коэффициентов требует дополнительного обоснования.

Полезностью системы автором работы [6] названо число Z , подлежащее максимизации. Такой критерий является самым общим и наиболее объективным. Функция полезности конструируется зависящей от показателей точности и скорости.

Выводы

В настоящее время экономически выгодным и популярным инструментом для анализа и синтеза систем является компьютерное моделирование в популярных программах MatLab, Simulink, LabView и им подобных. При этом, разработчики перечисленного программного обеспечения демонстрируют качество разрабатываемых моделей систем с помощью простых критериев. Обычно это число битовых ошибок (BER) и скорость передачи информации. Краткий обзор критериев качества, выполненный в статье, говорит о том, что не все так однозначно. Универсального критерия – может быть, на сегодняшний день? – не существует. В публикациях, практически использующих данную теорию специалистов [7], рекомендуют обращать пристальное внимание не только на сами методы кодирования и модуляции, но и на качество реализации алгоритмов декодирования и демодуляции цифровыми методами.

Список литературы: 1. *Метеорная система передачи информации: пути к модернизации* / А.В. Воргуль, Ю.Х.Сулейман // Радиотехника. – 2011. – Вып. 165. 2. *Mahmud, Haled, Mukimoto, Kaiji, Fukuda, Akira.* Development of MBS system using software modem // IECSE Trans. Commun., Vol E83-B, No. 6 June 2000. 3. *Олифер, В.Г., Олифер, Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб. : Изд-во "Питер", 2000. – 672 с. 4. *Зюко, А.Г., Кловский, Д.Д., Назаров, М.В., Финк, Л.М.* Теория передачи сигналов : учебник для вузов. – М. : Радио и связь, 1986. – 304 с. 5. *Зюко, А.Г.* Помехоустойчивость и эффективность систем связи. – М. : Связь, 1972. – 360 с. 6. *Зелигер, А.Н.* Критерии оценки качества систем связи. – М. : Связь, 1974. – 40 с. 7. *Варагузин, В.* Вблизи границы Шеннона // Телемультимедиа. – 2005, июнь. – С. 3-10.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 11.04.2012