

ВЗАИМОСВЯЗЬ СКОРОСТИ ЦИФРОВОГО ПОТОКА И ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Сазанов А.С., Джумаева А.А

Ткаченко А.П. – канд. техн. наук, доцент

В системах цифрового ТВ вещания ЦТВ важное значение придается их эффективности - спектральной γ_{Σ} и энергетической $\gamma_{\Sigma\Delta}$

Сопоставляются удельная скорость цифрового потока, удельная пропускная способность канала (бит/с·Гц) и $\gamma_{\Sigma\Delta}$, как отношение энергии, приходящейся на бит E_b , Вт/Гц, к спектральной плотности мощности шума N_0 , Вт/Гц, для определения путей их повышения.

Обобщенная структурная схема системы ЦТВ представлена на рис.1. Она включает три фундаментальных процесса: кодирование – декодирование (на передающей и приёмной сторонах соответственно) источника, кодирование – декодирование канала и модуляцию – демодуляцию.



Рис. 1 – Обобщенная структурная схема цифровой системы передачи ТВ изображений

На передающей стороне все виды обработки сообщений в блоках 2 – 6 служат цели преобразования их в такие сигналы, которые наиболее подходят для передачи по каналу конкретного типа – по свободному пространству (радио- или атмосферному оптическому каналу), либо по направляющей среде (кабелю металлическому или световодному, т.е. волоконно-оптическому).

В кодере источника 4 осуществляются: ограничение полосы частот сигналов значением высшей частоты F_b , аналого-цифровое преобразование (АЦП) и существенное уменьшение избыточности, а в кодере канала 5 – помехоустойчивое кодирование, преимущественно каскадное с относительной скоростью R_K , сопровождающееся перемежением битов, байтов и символов. Завершается процесс многопозиционной модуляцией в блоке 6.

При передаче изображений источником сообщений являются объекты, оптическое изображение которых нужно ещё построить. Эту задачу выполняет оптическая система 2, которая на светочувствительной поверхности передающей трубки 3 (в общем случае выполняющей роль оптико-электронного преобразователя – ОЭП) строит плоское оптическое изображение $L_{oi}(x, y, t)$. В цветном телевидении отраженный от объекта световой поток сначала расщепляется светоделительной оптикой на три цветоделенных потока $L_{o1R}(x, y, t)$, $L_{o1G}(x, y, t)$, $L_{o1B}(x, y, t)$, которые и поступают на три передающие трубки.

Таким образом, оптическое изображение является многомерной пространственно-временной функцией (ПВФ), которая в ТВ камере преобразуется в одномерный ТВ сигнал: сначала оптическое изображение преобразуется в электронное (рельеф зарядов, фотопроводимостей или потенциальных ям в зависимости от типа ОЭП: электровакуумные передающие трубки, ПЗС- или КМОП – матрицы), а затем с помощью электронной развёртки ПВФ преобразуется в сугубо временную и формируются видеосигналы $U(t)$ - три сигнала основных цветов.

На приёмной стороне в блоках 8 – 11 производятся обратные операции для восстановления информации в исходном виде с минимально возможными искажениями. Принятый сигнал $U(t)$ на входе электронно-оптического преобразователя – ЭОП 11 всегда будет отличаться от переданного. Объясняется это неизбежными искажениями информации ввиду не идеальности процессов её прямого и обратного преобразования, отличием характеристик тракта от идеальных, а также системными ограничениями и действием внутренних и внешних помех. В каждом конкретном случае в зависимости от вида передаваемой информации нормируются допустимые искажения сигнала или вероятность ошибок.

Случайный характер сообщений, сигналов и помех обусловил важнейшее значение теории вероятностей в теории связи и вещания. Вероятностные свойства сигналов и сообщений, а также среды, в которой передается сигнал, позволяют определить количество передаваемой информации и ее потери.

Скорость цифрового потока $V_{инф}$, бит/с на выходе АЦП пропорциональна частоте дискретизации $F_{д}$ и разрядности двоичного кодирования m :

$$V_{инф} = f_{д} \cdot \log_2 N_{KB} = f_{д} \cdot m, \quad (1)$$

где N_{KB} – количество уровней квантования, $N_{KB} = 2^m$. При выборе значения $f_{д}$ учитываются требования теоремы отсчетов

$$f_d \geq 2F_B, \quad (2)$$

и ряд дополнительных, специфичных для ТВ [1, 4]. Условие (2) является достаточным всегда и одновременно необходимым, если обеспечивается условие

$$F_B/F_H \geq 2, \quad (3)$$

где F_H – низшая частота спектра аналогового сигнала. В ТВ сигнале условие (3) выполняется.

Для полосовых сигналов, у которых

$$F_B/F_H < 2, \quad (4)$$

необходимым значением f_d является

$$f_d' = 2(F_B + F_H) / (2n + 1), \quad (5)$$

где $n = 1, 2, \dots$, при наименьшем n .

При этом $f_d' < f_d$ и поэтому уменьшается как скорость (1) цифрового потока, так и требуемая полоса канала. Для восстановления аналогового сигнала на выходе ЦАП в этом случае нужно применить ПФ вместо ФНЧ.

Скорость $B_{\text{КК}}$, бит/с и $B_{\text{СИМВ}}$, симв/с на выходах блоков 5 и 6 соответственно имеют вид

$$B_{\text{КК}} = B_{\text{ИНФСЖ}} / R_K, \quad B_{\text{СИМВ}} = F_K / b_F = B_{\text{КК}} / \log_2 M,$$

где $B_{\text{ИНФСЖ}} = B_0$ – скорость цифрового сигнала с учетом сжатия, F_K – полоса частот канала, b_F – коэффициент расширения полосы, M – количество амплитуд и фаз или только фаз, которые принимает несущая при многопозиционной модуляции.

Дополнительным свойством сложных (многопозиционных) видов модуляции является более плотная упаковка данных в частотной области, когда на единицу полосы пропускания приходится больше передаваемой информации.

Учитывая изложенное, можно записать выражение для определения максимально допустимой скорости цифрового потока B_0 на выходе блока 4, которую можно “вписать” в канал с шириной полосы F_K

$$B_0 = B_{\text{КК}} R_K = B_{\text{СИМВ}} R_K \log_2 M = (F_K R_K / b_F) \log_2 M, \quad (6)$$

и выражение для пропускной способности канала C_K в соответствии с формулой Шеннона:

$$C_K = F_K \log_2 (1 + P_C / P_{\text{ш}}) = F_K \log_2 [1 + (E_b / N_0) \cdot (B_0 / F_K)]. \quad (7)$$

В выражения (7) учтена зависимость между отношением средних мощности сигнала и шума $P_C / P_{\text{ш}}$ и отношением E_b / N_0 [2]. При анализе $\gamma_{\text{с.з}}$ и $\gamma_{\text{з.з}}$ необходимо перейти к удельным скорости B_0 / F_K и пропускной способности C_K / F_K . После деления выражений (6) и (7) на F_K , приравняем правые их части:

$$(R_K / b_F) \log_2 M = \log_2 (1 + P_C / P_{\text{ш}}) = \log_2 [1 + (E_b / N_0) \cdot (B_0 / F_K)]. \quad (8)$$

При использовании многочастотной схемы модуляции COFDM в (8) нужно учесть и относительную длительность защитного интервала. Наличие в (6) и (8) относительной скорости помехоустойчивости кодирования R_K не позволяет судить об энергетическом выигрыше от кодирования. Так, напр., при сверточном кодировании (СК) с $R_K = 1/2$ выигрыш будет максимальным, но различным в зависимости от типа СК. Однако, при фиксированной после F_K и скорости $B_{\text{КК}}$ (для выбранного вида модуляции) необходимо при этом уменьшать информационную скорость B_0 . Ряд выражений для оценки выигрыша от кодирования получен в работе [3]. Анализ выражения (8) показывает на некоторые пути осуществления обменных операций между $\gamma_{\text{с.з}}$ и $\gamma_{\text{з.з}}$ и возможные варианты их одновременного увеличения, что во многом обеспечивается в системах ЦТВ DVB второго поколения.

Список использованных источников:

1. Зубарев, Ю. Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю. Б. Зубарев, М. И. Кривошеев, И. Н. Красносельский. – НИИР, 2001. – 568с.
2. Ткаченко, А. П. Тенденции развития систем цифрового телевизионного вещания / А. П. Ткаченко, М. И. Зорько, Д. А. Хатьков // международная научно – техническая конференция, приуроченная к 50 – летию МРТИ – БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года): материалы конф. В 2 ч. Ч.1. – Минск: БГУИР, 2014. – 539с. (С. 261-263).
3. Липкович, Э. Б. Системы наземного цифрового телевизионного вещания: метод. пособие / Э. Б. Липкович. – Минск: БГУИР, 2006. – 84с.
4. Ткаченко, А. П. Цифровое представление сигналов изображения и звукового сопровождения: учеб. пособие / А. П. Ткаченко, П.А. Капура, А. Л. Хоминич. – Минск: БГУИР, 2003. – 56с.