

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

А.П. ТКАЧЕНКО, М.И. ЗОРЬКО, Д.А. ХАТЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
tkachenko@bsuir.by*

Анализируется современное состояние в области цифрового телевизионного вещания (ЦТВ). Сравняются удельная скорость передачи с удельной пропускной способностью и энергетической эффективностью. Приведенные выражения показывают на возможные пути оптимизации системы ЦТВ по критериям эффективности.

Ключевые слова: цифровое телевидение, скорость передачи, компрессия, помехоустойчивое кодирование, цифровая модуляция, пропускная способность.

Развитие систем и сетей распределения программ ЦТВ, очевидно, предопределено фундаментальными процессами, которые применяются для формирования, передачи и приема цифровых сигналов. К ним относятся: кодирование источника – КИ (ограничение полосы частот значением высшей частоты F_B , аналого-цифровое преобразование – АЦП, существенное уменьшение избыточности), кодирование канала – КК (помехоустойчивое кодирование, преимущественно каскадное с относительной скоростью R_K , сопровождающееся перемежением битов, байтов, символов) и многопозиционная модуляция.

Задача КИ состоит в том, чтобы с учетом статистических (вероятностных) и структурных свойств ТВ изображений и сигналов, а также психофизиологических характеристик получателя сообщений – зрительной системы человека, – наиболее компактно представить объем первичного сигнала. Скорость цифрового потока $V_{\text{инф}}$ на выходе АЦП пропорциональна частоте дискретизации f_d и разрядности двоичного кодирования m : $V_{\text{инф}} = f_d \log_2 N = f_d m$, бит/с, где N – количество уровней квантования, $N = 2^m$. Скорость $V_{\text{инф}}$ называют также информационной скоростью передачи, поскольку она характеризует количество информации. Современные методы устранения пространственно-временной (статистической), структурной и психофизиологической избыточности, присущей ТВ изображениям, позволяют скорость $V_{\text{инф}}$ уменьшить в $k_{\text{СЖ}}$ раз без заметного снижения качества воспроизводимого изображения: $V_{\text{инф.СЖ}} = V_{\text{инф}}/k_{\text{СЖ}}$. КК применяется для исправления ошибок, возникающих при приеме цифрового сигнала из-за действий различных помех и искажений. В трактах вещания применяется только прямое исправление ошибок – FEC. В любом случае кодирование канала увеличивает объем передаваемых данных – общую скорость цифрового потока $V_{\text{КК}}$ в $1/R_K$ (при этом информационная её часть остаётся неизменной): $V_{\text{КК}} = V_{\text{инф.СЖ}} / R_K$, бит/с; $R_K \geq 1$. Под R_K понимают отношение количества бит на входе КК к количеству бит на его выходе.

Модуляция используется для преобразования сигналов, представленных со скоростью $V_{\text{КК}}$, в радиосигналы (модулированные колебания) заданной полосы частот, что обеспечивает их передачу по конкретному физическому каналу. Дополнительным свойством сложных (многопозиционных) видов модуляции является более плотная упаковка данных в частотной области, когда на единицу полосы пропускания прихо-

дится больше передаваемой информации. В результате модуляции ВЧ несущее колебание дискретно изменяется по фазе или по амплитуде и фазе одновременно, принимая M их значений. При этом длительность символа модулированного сигнала в $\log_2 M$ раз больше, чем у двоичного сигнала на входе, а символьная скорость во столько же раз меньше битовой на входе модулятора. С другой стороны, символьная скорость связана с полосой частот канала F_K соотношением $B_{\text{СИМВ}} = F_K / b_p$, симв/с, где b_p – коэффициент расширения полосы. Обычно ширина полосы канала F_K задана, поэтому её не расширяют, но символьную скорость уменьшают в b_p раз. Тогда можно записать $B_{\text{СИМВ}} = B_{\text{КК}} / \log_2 M = F_K / b_p$, симв/с и, учитывая предыдущие выражения, получить формулу для определения максимально допустимой скорости цифрового потока на выходе КИ, которую можно «вписать» в канал с шириной полосы F_K

$$B_{\text{ИНФ.СЖ}} = B_{\text{КК}} R_K = B_{\text{СИМВ}} R_K \log_2 M = F_K R_K \log_2 M / b_p, \text{ бит/с.} \quad (1)$$

Пути развития систем ЦТВ относительно просто раскрываются, если записать выражение, устанавливающее взаимосвязь между $\gamma_{\text{С.Э.}}$, $\gamma_{\text{Э.Э.}}$ и другими параметрами системы. Критериями оценки систем ЦТВ являются спектральная $\gamma_{\text{С.Э.}}$ и энергетическая $\gamma_{\text{Э.Э.}}$ эффективности, определяющие количество информации, которое можно передать в заданной полосе F_K , и отношение средних мощностей сигнала и шума ОСШ = $P_C / P_{\text{Ш}}$, обеспечивающие квазибезошибочный прием данных. Под $\gamma_{\text{Э.Э.}}$ чаще используется нормированное ОСШ - E_b / N_0 – как отношение приходящейся на бит энергии E_b , к спектральной плотности мощности шума N_0 . Причем E_b можно представить как мощность сигнала, умноженную на время передачи бита T_b , равное также тактовому интервалу T_T , а N_0 – как мощность шума $P_{\text{Ш}}$, деленную на ширину полосы F_K . Поскольку время передачи бита и скорость их передачи $B_{\text{ИНФ.СЖ}}$ (или тактовая частота) взаимно обратны, T_b можно заменить на $1 / B_{\text{ИНФ.СЖ}}$. Тогда $E_b / N_0 = (P_C / P_{\text{Ш}}) (F_K / B_{\text{ИНФ.СЖ}})$.

От выбора методов выполнения рассмотренных трёх процессов и их параметров зависит эффективность ЦТВ, т.е. по Шеннону – степень использования пропускной способности канала $C_K = F_K \log_2 (1 + P_C / P_{\text{Ш}})$, бит/с. При проектировании и анализе ЦСП наибольший интерес представляет пропускная способность, отнесённая к единице полосы частот:

$$C_K / F_K = \log_2 (1 + P_C / P_{\text{Ш}}) = \log_2 (1 + (E_b / N_0) (B_{\text{ИНФ.СЖ}} / F_K)), \text{ бит/с Гц.} \quad (2)$$

Приравняв правые части выражений (1.1) для удельной скорости $B_{\text{ИНФ.СЖ}} / F_K$ и (1.2), получаем:

$$R_K (\log_2 M) / b_p = \log_2 (1 + P_C / P_{\text{Ш}}) = \log_2 (1 + (E_b / N_0) (B_{\text{ИНФ.СЖ}} / F_K)), \text{ бит/с Гц.} \quad (1.3)$$

Анализ (1.3) показывает, что в канале с фиксированной полосой частот F_K повысить пропускную способность можно путем увеличения числа значащих позиций сигнала M . Но такой сигнал более чувствителен к искажениям вследствие неидеальности характеристик канала и менее помехозащищён. Поэтому необходимо либо увеличить отношение $P_C / P_{\text{Ш}}$, что не всегда возможно, и(или) применить более мощные коды, исправляющие ошибки, что также имеет свои ограничения, т.к. возникает необходимость уменьшения информационной ёмкости сигнала.

Системы ЦТВ второго поколения DVB-T2, S2 и C2 являются лучшим подтверждением сформулированных выводов. В них применяются: 1) методы помехоустойчивого кодирования с большей исправляющей способностью, что обеспечивает требуемую вероятность ошибок при меньшем отношении $P_C / P_{\text{Ш}}$; 2) виды цифровой модуляции с большей спектральной эффективностью. Так, например, в системе кабельного телевидения (КЦТВ) второго поколения DVB-C2, учитывая меньшую подверженность линий связи (коаксиальных и особенно волоконно-оптических) действию внешних по-

мех, число позиций M квадратурной амплитудной модуляции увеличено до 4096. При этом уровень сигнала в линии должен быть таким же, как и уровень несущей изображения $p_{н.и.}$ в аналоговой системе, но скорость передаваемого цифрового потока может составлять 81 Мбит/с.

В современных системах ЦТВ с помощью самых передовых методов обработки и передачи сигналов (сжатие информации, каскадное помехоустойчивое кодирование, полосноберегающая модуляция и др.) достигается хорошее приближение к границе Шеннона (разница составляет менее 1 дБ). Таким образом, дальнейшее развитие систем ЦТВ возможно по пути поиска методов одновременной максимизации $\gamma_{с.э.}$ и $\gamma_{э.э.}$

УДК 621.397

ДЕТАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

А.П. ТКАЧЕНКО, М.И. ЗОРЬКО, Д.А. ХАТЬКОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
tkachenko@bsuir.by*

Системы цифрового ТВ вещания (ЦТВ) разделены на 17 классификационных признаков, которые позволяют оценить большое разнообразие действующих и перспективных технологий обработки сигналов ЦТВ. Предложенная классификация является наиболее глубокой и практически исчерпывающей.

Ключевые слова: цифровое телевидение, системы вещания, классификационные признаки и параметры, виды и типы сигналов, форматы, компрессия, помехозащищенность, модуляция, канал.

Современное состояние в области ЦТВ характеризуется большим разнообразием систем, применяемых способов сжатия (значительного уменьшения избыточности), формирования программных и транспортных потоков, методов помехоустойчивого кодирования и высокоэффективных многопозиционных видов цифровой модуляции. Приведенная классификация систем ЦТВ соответствует уровню их развития по состоянию на конец 2013г. Первый из признаков делит системы по виду передаваемых изображений на монохромные (черно-белые), цветные, стереоскопические и объемные (A1...A4). Поскольку ТВ вещание с электронной разверткой начиналось (в 1930-е годы) с передачи черно-белых изображений, то и системы A1 включены в классификацию, как и аналоговые системы цветного телевидения.

Длительное время все операции по формированию, обработке, записи, передаче и приему сигналов осуществлялись над аналоговыми ТВ сигналами. Даже когда в телефонии стали применяться цифровые методы передачи с импульсно-кодовой модуляцией, ТВ вещание оставалось аналоговым еще долгие годы. Элементная база того времени, да и весь уровень развития техники не позволяли осуществить столь резкий скачок (почти в 4220 раз) – от 64 кбит/с (скорость в основном цифровом канале в ТЛФ) к 270 Мбит/с в телевидении стандартной четкости ТСЧ (SDTV) и до 3 Гбит/с в ТВЧ