

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

(HDTV) в формате цифрового представления 4:2:2 без сжатия трех компонентных сигналов (яркости - $U^?_Y$, и двух нормированных цветоразностных – ЦРС: P_r, P_b).

Усилиями нескольких коллективов ученых и инженеров предприятий, заводов и вузов, но в основном Всесоюзного научно-исследовательского института телевидения (г. Ленинград) в течение 1975–1982 гг. были выполнены ряд НИР и ОКР, которые завершились разработкой и настройкой первых в мире цифровых АСБ и ЦА, а также комплекса измерительных приборов. Советские специалисты принимали активное участие в работе Международного консультативного комитета по радио (сейчас это сектор радиосвязи Международного союза электросвязи МСЭ-Р) по разработке рекомендации по ЦТВ с параметрами: $f_{д.У} = 13,5$ МГц, $f_{д.ЦРС} = 6,75$ МГц при 8-ми разрядном кодировании. ВНИИТ в 1982–1984гг. по программе «Студия» разработал и изготовил цифровое оборудование для АСБ и ЦА с такими параметрами почти на год раньше, чем МККР принял соответствующую рекомендацию. В мире в то время была разработана лишь одна экспериментальная цифровая студия французской фирмы «Томсон» (1985г.), но по объему функций она уступала АСБ и не имела ЦА. Обе разработки – и советская, и французская на имевшейся тогда элементной базе были громоздки и потребляли много электроэнергии.

По виду обрабатываемых в студии сигналов (признак Б) системы ТВ разделены на аналоговые, аналог – цифра – аналог (спутниковая система МАС) и цифровые. В такой последовательности они исторически и развивались вместе с непрерывным повышением требований к качеству изображения и звукового сопровождения. На этапе перехода от ТСЧ к ТВЧ было несколько новых систем, получивших название «телевидение повышенного качества» – ТПК (EDTV). Признак В делит ТВ системы на композитные (В1) – NTSC, PAL, SECAM и компонентные (В2) – МАС и все цифровые с ЧРК – СЯ и СЦ (Г1), ВРК – аналоговых СЯ и ЦРС в МАС (Г2) и ВРК – цифровых СЯ и ЦРС (Г3).

По формату цифрового представления сигналов системы ТСЧ разделены на 6 типов (Д1...Д6) с указанием соотношений между частотами дискретизации СЯ и двух ЦРС: 4:4:4 – по 13,5 МГц; 4:2:2 – 13,5 МГц (У) и по 6,75 МГц (ЦРС); 4:1:1 – 13,5 МГц и по 3,375 МГц (ЦРС); 4:2:0 – 13,5 МГц (У) и по 6,75 МГц (ЦРС передаются поочередно через строку) и скорости мультиплексированных несжатых цифровых потоков. Признак Е делит аналоговые и цифровые системы по их наименованию: Е1...Е4 – NTSC, PAL, SECAM, МАС; Е5 – американская (США) ATSC (мобильная MediaFlo); Е6 – европейская DVB, принятая в большинстве стран мира; Е7 – японская ISDB (мобильная ISDB-Tmm); Е8 – китайская DTMB (СММВ – эфирно-спутниковая); Е9 – системы DVB по принятым в Российской Федерации (РФ) стандартам (ЦТВ РФ); Е10 – RAVIS, российская система цифрового наземного мультимедийного и звукового вещания РАВИС. По стандартам разложения изображения системы разделены на 7 видов (Ж1...Ж4): ТСЧ, ТПК, ТВЧ, ТПР (пониженного разрешения), эталонное цифровое кино DCDM (2048?4096), ультравысокой четкости (2160?3840 – 4К, 3240?5760 – 6К, 4320?7680 – 8К), стерео и объемное (3DTV). Для них указаны и основные параметры разложения изображения.

К методам компрессии изображения (З1...З6) отнесены: MPEG-2, MPEG-4/H.264, Windows Media, DIRAC (не получивший развития) и наиболее эффективный H.265/HEVC. По способам формирования потока данных системы разделены на использующие традиционные ТВ каналы (И1...И9) и нетрадиционные И10...И15 – RAVIS; СПР 4G, 5G; xDSL; FTTx; PON; Wi-Fi; WiMAX; IPTV; OTT; HbbTV. Анализируются различные методы помехоустойчивого кодирования: от Рида-Соломона и сверточного до BCH-code и LDPC (К1...К5). Рассмотрены 9 видов систем DVB (Л1...Л9), различающиеся по видам среды распространения сигналов и поколениям: DVB-T, T2; DVB-S, S2, SH; DVB-C, C2; DVB-H, H2, а также по режимам передачи (М1...М5): 2К,

4К, 8К, 16К, 32К. По способам модуляции, множественного доступа и разделения каналов системы собраны в 14 групп (Н1...Н14): АМ-ЧПОБП-ЧРК; QAM-COFDM-ЧРК (наземного ЦТВ); QPSK (APSK, PSK-8)-ЧРК-ПолРК (спутникового ЦТВ); QAM-COFDM-МИ-DWDM-ПрРК (кабельного ЦТВ); 8(16)-VSB-ЧРК (НЦТВ, КЦТВ) и др.

К дополнительным функциям отнесены (О1...О3): приоритетный режим передачи ряда ТВ программ, статистическое мультиплексирование и интерактивность. Системы НЦТВ по построению сетей могут быть (П1...П3) многочастотными – MFN (типичный вариант), одночастотными – SFN (при COFDM, допускающей синхронную работу радиотелевизионных передающих станций на одинаковых частотах) и комбинированными. Число цифровых ТВ программ, передаваемых в полосе стандартного ТВ канала (Р1...Р6), зависит от применяемых способов устранения избыточности, видов помехоустойчивого кодирования, типов многопозиционной цифровой модуляции (от QPSK (в СЦТВ) до 4096 – QAM в КЦТВ), а также от стандартов разложения и варьируется от (2-4)ТВЧ/8 МГц до (16-20)ТСЧ/8 МГц при DVB-T2; (18-24)ТСЧ/8 МГц при DVB-C2. Указанные значения во многом определяются поставленными перед системой и сетями распределения целями и областями применения (С1...С5) – наземные, кабельные, спутниковые и эфирно-кабельные.

Библиотека БГУИР