

Лекции 9

Система цифрового радиовещания DRM (Digital Radio Mondiale – Всемирное Цифровое Радио)

DRM – это многофункциональная система цифрового радиовещания (ЦРВ), предназначенная для применения в диапазонах частот, не превышающих 30 МГц, с использованием АМ радиопередатчиков. Консорциум DRM, созданный в марте 1998 года, насчитывает около 80 государств-членов, включая Россию. Консорциум DRM – некоммерческая организация, созданная для развития и продвижения системы DRM во всем мире. В ее состав входят радиовещательные компании, операторы связи, производители радиоприемного и радиопередающего оборудования, а также научно-исследовательские институты. Россию представляют ФГУП РТРС и ТРК «Голос России». Главная цель, которую преследовали разработчики идеологии DRM – обеспечить постепенный и с минимальными затратами переход с традиционного аналогового АМ-радиовещания в диапазонах средних и коротких волн к цифровому, и, таким образом, резко улучшить его качество.

Система DRM позволяет реализовать стереофоническое звуковое радиовещание с качеством звуковоспроизведения, характерным для УКВ ЧМ радиовещания и намного более высоким, чем при АМ-радиовещании. Возможна также передача монофонических программ, речевых сигналов и разнообразной дополнительной информации (данные, относящиеся к программам, независимые данные, текстовая и графическая информация, неподвижные изображения). На первом этапе перехода к цифровому вещанию системы DRM могут работать в существующей стандартной полосе радиоканала, которая для вещания на частотах ниже 30 МГц составляет сейчас 9-10 кГц. Впоследствии можно формировать и более широкие полосы, повышая качество передачи сигнала. При внедрении новой системы можно модернизировать существующие АМ-передатчики, что снимет ряд проблем переходного периода.

Систем DRM характеризуется очень гибкими техническими характеристиками и при необходимости способна обеспечивать передачу в одном канале сигнала цифрового радиовещания и аналогового вещательного сигнала с амплитудой (АМ) или однополосной (ОМ) модуляцией. Технические решения, примененные в системе DRM, обеспечивают очень высокую устойчивость приема сигналов при наличии неблагоприятных факторов в каналах передачи (помехи, замирания, многолучевое распространение и др.). Это позволяет осуществлять качественный прием сигналов DRM в стационарных и походных условиях, а также в автомобилях и других подвижных объектах.

При организации DRM-вещания возможно использование одночастотной сети (SFN – Single Frequency Network), состоящей из нескольких передатчиков, работающих в синхронном режиме на одной и той же частоте (в одном радиоканале). Такая организация вещания позволяет многократно расширять зоны обслуживания при существенной экономии радиочастотного спектра.

Система DRM спроектирована таким образом, что обеспечивает выполнение разнообразных требований радиовещательных служб во всем мире. Для случая передачи одной и той же программы одновременно в разных радиоканалах в системе DRM предусмотрена функция автоматической настройки приемника на частоту канала, обеспечивающего наилучшее качество радиоприема.

В соответствии с Международным регламентом радиосвязи, для радиовещания на частотах ниже 30 МГц используются следующие полосы радиочастот:

- низкочастотная (НЧ) – от 148,5 до 283,5 кГц (для зоны вещания 1, к которой относится и Россия);
- высокочастотная (ВЧ) – набор единичных радиовещательных полос в диапазоне от 3 до 27 МГц, доступных для всех зон.

Для России особенно привлекательным является диапазон ВЧ, который характеризуется очень хорошим прохождением радиоволн. Именно в этом диапазоне ЦРВ в формате DRM способно существенно улучшить качество радиовещания. Для России это почти единственный шанс обеспечить высококачественным вещанием с минимальными затратами ее огромные территории с относительно низкой плотностью населения.

Основные преимущества DRM следующие:

- улучшение приема и качества звучания;
- возможность использования во всех диапазонах;
- возможность совместной передачи звукового сигнала и данных;
- возможность выбора режима для оптимизации пропускной способности/качества и надежности/устойчивости приема;
- очень высокая эффективность использования спектра: от 3 до 4 бит/Гц/с.

Система DRM открыта для последующего улучшения, использования новых методов компрессии и процедур кодирования. Система может использоваться:

- в пределах номинальной ширины полосы (9/10 кГц), в соответствии с существующей планировкой;
- в пределах каналов с шириной полосы, кратной 4,5 кГц (половина 9 кГц) или 5 кГц (половина 10 кГц), для того, чтобы была возможность совместного вещания с аналоговым АМ-сигналом;
- в пределах удвоенных номиналов полосы (18/20 кГц) – для реализации большой пропускной способности канала – в тех случаях, когда это допускает частотной планирование.

Передающая часть системы DRM

Упрощенная структурная схема передающей части системы DRM показана на рис. 1. Работает она следующим образом.

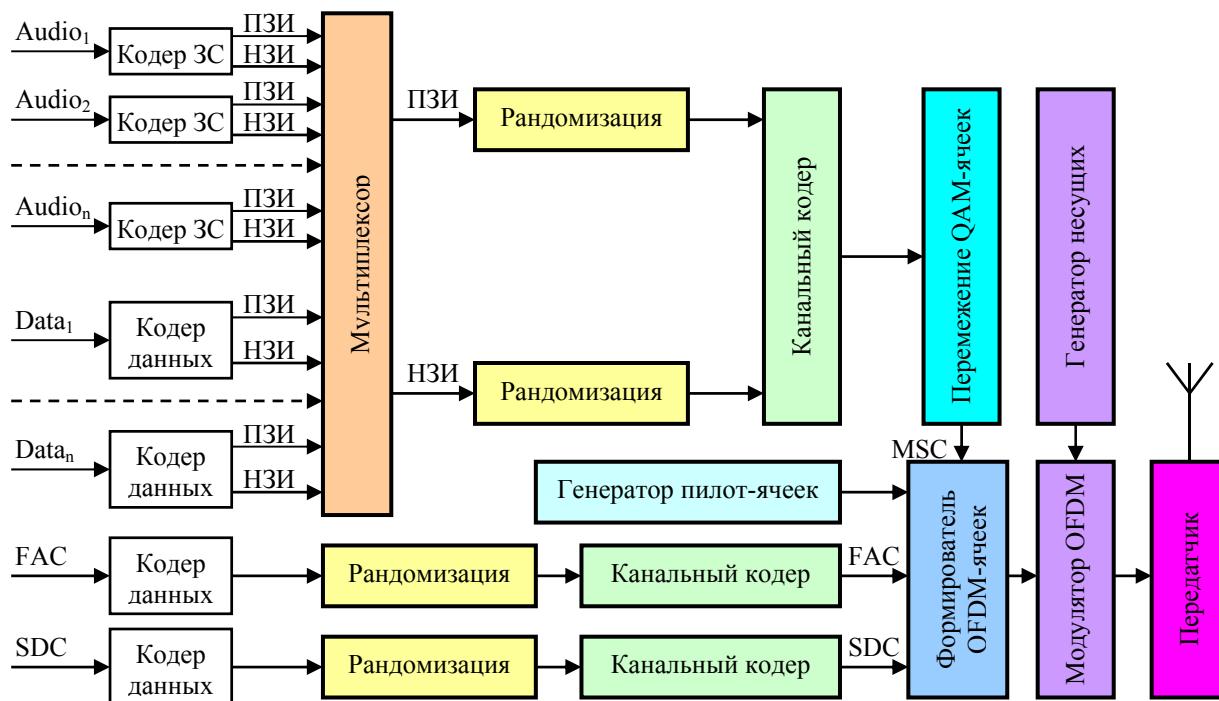


Рис. 1. Упрощенная структурная схема передающей части системы DRM

На первом этапе производится кодирование сигналов (как звуковых, так и сигналов данных) с целью снижения скоростей передачи соответствующих им цифровых потоков. В условиях ограниченной пропускной способности каналов передачи сигналов DRM это

позволяет увеличить количество передаваемых программ. С другой стороны, такое кодирование не должно приводить к заметному ухудшению качества звуковоспроизведения на приемной стороне в сравнении с исходным звуковым сигналом. В отличие от стандарта DAB, использующего для этих целей компрессию данных в соответствии со стандартом MPEG1 Layer 2, в DRM применяется более современный метод компрессии MPEG4. При этом для кодирования звукового сигнала в моно и стереовариантах используется адаптивный вариант компрессии **MPEG4 AAC (Advanced Audio Coding)** – усовершенствованное звуковое кодирование). Этот метод допускает выполнение дополнительной обработки сигнала по так называемому методу **SBR (Spectral Band Replication)** – копирование спектральных полос). Применение метода SBR позволяет расширить диапазон воспроизводимых частот звукового сигнала более чем в 2 раза за счет воссоздания высокочастотных составляющих исходного спектра. При этом используется информация, содержащаяся в более низкочастотных спектральных составляющих верхней части диапазона частот передаваемого звукового сигнала. Метод SBR применим для вариантов AAC и CELP.

Для высококачественного кодирования речи для монофонического информационного радиовещания используется вариант компрессии **MPEG4 CELP (Code Excited Linear Prediction)** – линейное предсказание с кодовым возбуждением).

Для кодирования речевых сигналов с качеством, характерным для телефонной связи при скоростях цифрового потока 2-4 кбит/с, с полосой воспроизводимых частот 100-3800 Гц и частотой дискретизации 8 кГц используется вариант компрессии **MPRG4 HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding)** – кодирование с гармоническим векторным возбуждением или кодирование с помощью гармонических векторов).

Диапазон используемых скоростей потока звуковых данных в системе DRM составляет от 2 до 186 кбит/с. Скорость цифрового потока, равная 2 кбит/с, соответствует передаче речевого сигнала с качеством, характерным для телефонной связи, при скорости цифрового потока 72 кбит/с, можно передавать стереофонический звуковой сигнал с достаточно высоким качеством, а при скорости, равной 186 кбит/с можно передавать высококачественный шестиканальный звуковой сигнал в формате MPEG Surround 5.1.

В тракте передачи системы DRM формируются три канала:

- Main Service Channel (MSC) – канал передачи основной пользовательской информации, или главный сервисный канал;
- Fast Access Channel (FAC) – канал быстрого доступа;
- Service Description Channel (SDC) – канал описания пользовательской информации.

Канал передачи основной пользовательской информации MSC формируется на выходе мультиплексора пользовательской информации. На вход мультиплексора поступают цифровые потоки (от одного до четырех), которые соответствуют кодированным звуковым сигналам или сигналам дополнительной информации. Эти потоки в процессе кодирования делятся на данные, требующие повышенной защиты от ошибок (**ПЗИ**), и данные, для кодирования которых достаточно нормальной защиты от ошибок (**НЗИ**). Оба полученных таким образом субпотока поступают на мультиплексор отдельно. Полученный общий поток MSC также разделяется на части с повышенной и нормальной защитой от ошибок. Обе части в блоках рандомизации (скремблерах) дополняются псевдослучайными последовательностями бит с целью устранения возможных систематических повторений комбинаций двоичных символов и возникающей при этом нежелательной регулярности в передаваемом сигнале.

В канальных кодерах выполняется помехоустойчивое кодирование информации, которое осуществляется путем выполнения сверточного кодирования со скоростями кода от 0,5 до 0,8 (для разных степеней защиты), перемежение данных с целью рассредоточения возможных групповых ошибок, и преобразование информации в так называемые **QAM-ячейки (QAM – Quadrature Amplitude Modulation)** – квадратурная амплитудная модуляция). QAM-ячейки – это пары бит (00, 01, 10 и 11), которые в

дальнейшем отображаются в один из четырех элементарных отрезков гармонических колебаний с одинаковой амплитудой, но разной фазой ($+\pi/4$, $+3\pi/4$, $-\pi/4$ и $-3\pi/4$). В процессе модуляции сигнала по методу **OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)** – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением), QAM-ячейки преобразуются в **OFDM-символы**, то есть во множество несущих частот, передаваемых за время T_s (длительность одного OFDM-символа), и равномерно распределенных в заданном частотном диапазоне. Другими словами, **OFDM-символ – это элементарный передаваемый сигнал, соответствующий такому интервалу времени, в течение которого значения амплитуд и начальных фаз всех комплексных символов модуляции остаются постоянными**. Каждый OFDM-символ можно рассматривать как набор **OFDM-ячеек**, число которых соответствует числу используемых для модуляции несущих. **OFDM-ячейка – это параметры модуляции одной несущей радиосигнала DRM в течение времени передачи одного OFDM-символа**.

QAM-ячейки в канале MSC подвергаются дополнительному перемежению, что позволяет повысить устойчивость приема сигналов в каналах с изменяющимися характеристиками (например, при приеме радиосигналов DRM, отраженных от ионосферы, в диапазоне коротких волн).

Канал быстрого доступа FAC используется для обеспечения оперативного просмотра информации о предоставляемых системой услугах и для начала эффективного декодирования цифрового потока. В нем передается информация о полосе частот, занимаемых радиосигналами DRM, режиме модуляции, глубине перемежения, количестве и типах цифровых потоков в канале MSC, идентификации программ и т.д.

Канал описания пользовательской информации SDC содержит информацию, позволяющую расшифровать спектр услуг, заключенных в общем потоке данных канала MSC, дает возможность найти дополнительные (альтернативные) источники тех же самых данных, а также указывает признаки услуг (частота сигнала, район обслуживания, язык вещания, время, дата и др.), заключенных в мультиплексированном потоке. Объем данных канала SDC изменяется в соответствии с шириной занимаемого спектра суммарного (мультиплексного) потока, а также в зависимости от других параметров. Объем данных канала может быть увеличен при использовании функции перехода на альтернативную частоту. Такой переход может осуществляться без потери обслуживания с сохранением всех данных, которые передаются в канале.

Перемежение QAM-ячеек в каналах FAC и SDC не применяется. Это позволяет исключить временные задержки, связанные с процедурой перемежения, и повысить оперативность работы приемника DRM. Тем не менее, информация, передаваемая в каналах FAC и SDC, имеет достаточно высокую степень защиты от ошибок.

В формирователе OFDM-ячеек к общему сигналу добавляются пилот-ячейки, формируемые генератором пилот-ячеек. Пилот-ячейками называются специальные OFDM-ячейки, которые содержат заранее известные на приемной стороне значения частот, фаз и амплитуд несущих и служат для оценки канала передачи и обеспечения синхронизации. Значения параметров, передаваемых в этих ячейках, тщательно выбираются с целью оптимизации характеристик системы, особенно начальной синхронизации и надежности приема сигнала.

Основной функцией формирователя OFDM-ячеек является распределение различных классов ячеек по времени и частоте с целью формирования в дальнейшем OFDM-сигналов, которые состоят из OFDM-символов.

В модуляторе производится преобразование OFDM-сигналов из цифровой в аналоговую форму, частотное преобразование и фильтрация передаваемых радиосигналов. Полученный сигнал затем передается в эфир.

Для учета специфики распространения радиоволн в различных частотных диапазонах и определения характеристик каналов связи в стандарте на систему DRM введены так называемые режимы устойчивости, обозначенные буквами A, B, C, D, E

(табл.1). Режимы устойчивости А, В, С и D характеризуют каналы связи на частотах ниже 30 МГц и определяют параметры передаваемых в этом диапазоне DRM-сигналов. Режим устойчивости Е относится к функционированию системы DRM в полосе частот от 30 до 174 МГц.

Таблица 1

Режим устойчивости	Типичные условия распространения
А	Гауссовский канал с малыми замираниями
В	Каналы, имеющие временную и частотную селективность, с увеличенными задержками распространения
С	Подобен режиму В, но с увеличенным эффектом Доплера
Д	Подобен режиму В, но с существенными задержками распространения и значительным эффектом Доплера
Е	Каналы, имеющие временную и частотную селективность

Формирование каналов MSC, FAC и SDC

Канал MSC. В канале MSC передается информация, поступающая от поставщиков программ радиовещания. Многопрограммный (или мультиплексированный) групповой цифровой поток, формируемый в канале MSC, может содержать от одной до четырех программ радиовещания, каждая из которых является либо звуковой (и, в частности, речевой) программой, либо данными.

Общая скорость передачи мультиплексированного потока зависит от ширины полосы частот, занимаемых сигналом DRM, и от режима передачи. Мультиплексированный поток содержит от одного до четырех цифровых потоков. Каждый цифровой поток, в свою очередь, разделен на *логические кадры*, имеющие длительность 400 мс.

Цифровой поток, в котором передается компрессированный по стандарту MPEG4 звуковой сигнал (*цифровой звуковой поток*), может также содержать текстовую информацию. Цифровой поток, предназначенный для передачи данных (*цифровой поток данных*), может состоять из четырех или меньшего количества *субпотоков данных*, в каждом из которых передаются данные в пакетном режиме. Один такой субпоток переносит пакеты данных одной службы передачи данных.

Звуковой канал DRM содержит один цифровой звуковой поток и, кроме того, может содержать один цифровой поток или субпоток данных.

Канал данных DRM содержит один цифровой поток или субпоток данных.

Логический кадр состоит из двух частей, каждая из которых имеет свой уровень защиты от ошибок: повышенный или нормальный. Из логических кадров всех цифровых потоков формируются кадры мультиплексированного потока, длительность каждого из которых равна 400 мс. Эти кадры, пройдя обработку в блоках рандомизации, поступают на вход канального кодера MSC.

Информация о конфигурации мультиплексированного канала MSC передается в канале SDC. При необходимости конфигурация мультиплексирования может быть изменена. В этом случае параметры новой конфигурации мультиплексирования передаются через канал SDC, а точное время изменения конфигурации указывается в канале FAC.

Канал FAC. Канал быстрого доступа (FAC) используется для передачи информации быстрого доступа, позволяющей приемнику без задержек находить требуемый радиоканал DRM. Он содержит информацию о параметрах радиоканала DRM (например, о полосе частот, занимаемой радиоканалом, количестве и типах программ, которые передаются в данном канале, видах модуляции в каналах MSC и SDC). Канал FAC также содержит информацию о программах, подготовленных соответствующими службами, которые

передаются в звуковых (речевых) каналах или каналах данных системы DRM. Это позволяет владельцу DRM-приемника либо декодировать этот мультиплексированный поток, либо продолжить перестройку приемника по частоте.

Информация в канале FAS передается в виде FAS-блоков, которые затем используются при построении кадров и суперкадров передачи. Один FAS-блок содержит информацию о параметрах программы, подготовленной одной службой.

Если в мультиплексированном потоке содержатся программы нескольких служб, то для их описания требуется несколько FAS-блоков.

Параметры радиоканала включают в себя следующее:

- **однобитовый флаг (указатель) «базовый/улучшенный»**, который указывает на уровень DRM-передачи; при базовом уровне передачи радиосигнал может быть полностью декодирован обычным DRM-приемником; при улучшенном уровне передачи радиосигнал может быть полностью декодирован только DRM-приемником с дополнительными возможностями;
- **двухбитовое поле «идентификация»** идентифицирует номер текущего суперкадра передачи и применимость индекса AFS (индекс переключения альтернативных частот) в канале SDC;
- **четырёхбитовое поле «частотный диапазон»**, в котором указаны соответствующие параметры радиосигнала DRM;
- **однобитовый флаг «глубина перемежения»**, который определяет значение этого параметра;
- **двухбитовое поле «режим MSC»** предназначено для указания вида QAM-модуляции в канале MSC;
- **однобитовый флаг «режим SDC»** указывает на вид QAM-модуляции в канале SDC;
- **четырёхбитовое поле «количество программ»** указывает общее количество программ радиовещания, подготовленных звуковыми службами и службами передачи данных, в радиоканале DRM;
- **трехбитовое поле «индекс реконфигурации»** указывает статус и время реконфигурации мультиплексирования;
- **два бита *rfu*** зарезервированы для применения в будущем; до тех пор их значения устанавливаются равными нулю;

Параметры передаваемой программы:

- **24-битовое поле «идентификатор службы подготовки программ радиовещания»** указывает уникальный идентификационный номер данной службы;
- **двухбитовое поле «короткий идентификатор»** идентифицирует программу, а также звуковой (речевой) канал или канал данных MSC, в котором она передается; короткий идентификатор используется как справочная информация для канала SDC;
- **однобитовый флаг «индикация условного доступа»** указывает на наличие или отсутствие условного доступа к данной программе;
- **четырёхбитовое поле «язык вещания»** указывает на язык вещания;
- **однобитовый флаг «звук/данные»** указывает на тип программы;
- **пятибитовое поле «описание программы»**, содержимое которого зависит от значения флага «звук/данные»; если этот флаг равен 0, то указывается тип звуковой программы (новости, погода, музыкальный жанр, спортивный репортаж и т.д.); если флаг равен 1, то указывается идентификатор применения канала данных;
- **7 битов *rfa*** зарезервированы для будущих дополнений (пока не определены и устанавливаются равными нулю).

Канал SDC. В канале SDC передается информация о способах декодирования данных канала MSC, о поиске альтернативных источников одной и той же информации и идентификации программ, входящих в мультиплексированный поток.

Информация SDC формируется в виде блоков. Далее эти блоки используются при построении суперкадров передачи. SDC-блок имеет следующую структуру: индекс AFS –

4 бита; поле данных - n байтов; кодовое слово CRC (Cyclic Redundancy Code – циклический избыточный код) – 16 бит.

Четырехбитовый индекс AFS (Alternative Frequency Switch) - это беззнаковое двоичное число, которое указывает количество суперкадров передачи, отделяющих данный SDC-блок от следующего с тем же содержанием. Таким образом осуществляется поиск альтернативных источников одинаковых программ. Поле данных служит для передачи данных SDC. Длина этого поля зависит от устойчивости радиоканала, вида QAM-модуляции данных SDC и ширины полосы частот, занимаемых каналом DRM. 16-битовое кодовое слово CRC предназначено для контроля ошибок в блоке SDC.

Всего в канале SDC может передаваться 12 типов данных:

1. Метки (лейблы) программ.
2. Данные условного доступа.
3. Информация о частотах радиосигналов DRM.
4. Список частот радиосигналов для быстрого поиска.
5. Информация о применении: содержит описание всех передаваемых программ.
6. Поддержка объявлений и переключений.
7. Определение географических регионов.
8. Текущее время и дата.
9. Описание параметров звуковых каналов, необходимое для их декодирования.
10. Параметры канала FAS.
11. Данные установления связи, позволяющие находить альтернативные источники одинаковых программ.
12. Язык вещания и страна.

Кроме того, в канале SDC зарезервирована возможность введения в будущем и других типов данных.