

Практическое занятие 9

Сравнение DVB-T и DVB-T2

Изначально в Европе стандарт канального кодирования и модуляции DVB-T2 задумывался как технология для телевидения высокой четкости. Однако в последнее время стратегия внедрения стандарта изменилась. Страны, которые не занимались активным внедрением традиционной технологии DVB-T, в настоящее время в качестве основы внедрения цифрового телевидения рассматривают стандарт DVB-T2. Это касается некоторых стран Африки, Юго-Восточной Азии и ряда стран СНГ. Так, например, в Казахстане в 2009 году принято решение о внедрении стандарта DVB-T2.

Параметры стандарта DVB-T2.

Что нового по сравнению с DVB-T

Новый стандарт обеспечивает существенное увеличение коммерческой привлекательности построенной на его основе системы за счет повышения ее помехозащищенности, частотной эффективности и гибкости использования на базе применения широкого набора ключевых технологий из области теории сигналов и систем. Целесообразным представляется их перечислить.

В стандарте DVB-T2:

- Расширен набор размеров быстрого преобразования Фурье (добавлены 1k, 16k, 32k).
 - Введены дополнительные полосы OFDM-сигнала (1,7 и 10 МГц).
 - Расширен набор значений защитного интервала (добавлены 19/256, 19/128, 1/128).
 - Применено эффективное каскадное LDPC + BCH-кодирование.
 - Расширен набор режимов модуляции (добавлен 256QAM).
 - Применен оригинальный способ увеличения помехозащищенности системы в условиях сильных замираний сигнала и импульсных помех путем поворота созвездия и Q-сдвига.
 - Применен расширенный интерливинг битов и ячеек по времени и частоте.
 - Для доставки пользователям различных сервисов обеспечена возможность передачи каждого из них в соответствующем отдельном физическом канале со своим значением скорости передачи и уровнем помехозащиты.
 - Введен режим повышенной эффективности, увеличивающий количество модулированных несущих в символе OFDM за счет большего приближения спектра сигнала к границе частотной маски.
- Обеспечена возможность разнесенного приема в режиме MISO 2x1 с кодированием по модифицированной схеме Аламоути.
- Снижена доля служебной информации в передаваемом суперкадре.
 - Снижена доля пилот сигналов в общем битрейте передаваемого сигнала.

- Применены два метода (расширения созвездия — Active Constellation Extension, ACE, и резервирования несущих — Tone Reservation, TR) снижения пик-фактора OFDM-сигнала.
- Применена концепция построения модулятора, распределенного в пространстве по передатчикам синхронной сети, на основе использования так называемого интерфейса модулятора T2-MI.
- Обеспечена возможность передачи, помимо транспортных потоков, пакетов MPEG (Transport Stream — TS), применяемых, в основном, в цифровом телевидении, а также обобщенных инкапсулированных потоков (Generic Encapsulated Stream — GSE) и обобщенных непрерывных потоков (Generic Continuous Stream — GCS), применяемых в различных цифровых сетях.
- В июле 2011 года введен профиль T2-Lite для относительно простых и низкоскоростных приложений, таких как мобильное телевидение.

Самый большой вклад в увеличение эффективности системы внесло применение принципиально нового каскадного LDPC + BCH-кодирования, что позволило почти в полтора раза увеличить производительность, приблизив его к теоретическому пределу Шеннона (отличие составляет всего 0,5 дБ). Понятно, что это увеличение производительности можно заменять либо на увеличение пропускной способности системы (за счет применения более скоростных, но менее помехоустойчивых режимов модуляции, например — 256 QAM), либо на увеличение зоны обслуживания. Об этом подробно написано в имеющейся технической литературе. Помимо LDPC + BCH-кодирования применены еще две технологии, повышающие помехоустойчивость системы в специфических вариантах ее использования.

Конstellационная диаграмма.

В чем суть повернутого созвездия DVB-T2.

Выигрыш от применения

Это, прежде всего, технология так называемого поворота созвездия с последующим циклическим сдвигом во времени Q-координат точек созвездия. Суть метода вкратце: при повороте созвездия нарушается ортогональность QAM-диаграммы, тем самым вводится корреляционная связь между действительными и мнимыми координатами точек созвездия. Это приводит к некоторой потере потенциальной помехоустойчивости QAM-сигнала, но зато позволяет восстановить положение точки созвездия по принятому значению одной из координат при полностью утраченной другой. Важной составляющей этого метода является введение мер по разнесению I и Q координат точки по времени и частоте за пределы области корреляции помехи, чтобы декоррелировать воздействие импульсных помех и частотно-селективных замираний на событие

совместной потери обеих координат точки созвездия при распространении сигнала. Алгоритмически это обеспечивается поворотом координат (на угол, оптимальный для каждой QAM-диаграммы), что приводит к увеличению количества различающихся данных, описывающих координаты точки созвездия (см. рис. 1), последующим циклическим сдвигом Q-координаты на длительность одной ячейки данных (рис. 2) и дальнейшим разнесением I и Q координат за счет интерливинга по времени и частоте. Глубина интерливинга, принятая в стандарте DVB-T2, учитывает статистику импульсных помех и частотно-селективных замираний на трассе распространения. Следует иметь в виду, что при этом методе не происходит увеличения общего количества передаваемых данных и соответствующих затрат частотного спектра.

Фактически производится замена значений координат, одинаковых для различных точек созвездия, на уникальные координаты, принадлежащие только данной точке. Моделирование применения этого метода показало, что он дает существенный выигрыш в помехоустойчивости при работе системы в сложных условиях приема (канал Релея), позволяя приблизить значение минимальной напряженности поля к величине, характерной для гауссовского канала. Результаты этого моделирования для канала Релея и конкретного набора параметров системы приведены в таблице 1. Они позволяют судить о возможной величине выигрыша. К сожалению, аналитические методы оценки выигрыша или данные о результатах моделирования в виде графиков или таблиц с достаточно широким набором параметров канала и аппаратуры пока отсутствуют, что, естественно, затрудняет проектирование системы в варианте с применением этой опции.

Технологии разнесенного приема. Сравнительная помехоустойчивость двух систем

Вторая технология связана с применением разнесенного приема в синхронных сетях. Суть ее состоит в следующем: в синхронных сетях при размещении передатчиков по зонам сети на границах зон всегда присутствуют сигналы от передатчиков смежных зон; естественно, возникает желание использовать эти сигналы для увеличения общей зоны обслуживания синхронной сети. Такую возможность предоставляет применение модифицированного алгоритма Аламоути. Для его реализации все передатчики сети подразделяют на две группы, так что на границе смежных зон на входе приемников всегда присутствуют сигналы от передатчиков первой и второй групп. При этом каждая пара поднесущих (а их всегда четное количество), излучаемых передатчиками обеих групп, кодируется таким образом, что все поднесущие первой группы излучаются без внесения каких-либо изменений, в то время как поднесущие второй группы перед излучением попарно подвергаются операции комплексного сопряжения (обе), умножения на -1 (одна из них, условно, вторая) и перестановке (вторая становится первой). Эта технология дает результат,

эквивалентный разнесенному приему в том смысле, что соответствующие операции, выполняемые в декодере приемника, приводят к оптимальному сочетанию сигналов от двух передатчиков, в результате чего отношение сигнал-шум на входе решающего устройства приемника соответствует случаю, как будто мощности двух сигналов были объединены в эфире. Это дает возможность расширить пограничную область между смежными зонами (отодвинуть друг от друга границы зон) и, соответственно, увеличить зону обслуживания всей синхронной сети. Однако надо иметь в виду, что такой результат дается не бесплатно. Помимо обеспечения кодирования в передатчиках приемник должен включать в себя несколько дополнительных перемножителей для обработки по алгоритму Аламоути; а также дублиаж некоторых частей схемы оценки канала. Необходимо также значительное увеличение служебной информации вследствие того, что количество рассеянных пилот-сигналов для заданных значений защитного интервала и размера БПФ должно быть удвоено. Стандарт разрешает применение этой технологии при значениях защитного интервала не более $1/8 \dots 19/128$, что ограничивает размер зоны. Данная технология не может быть применена при приеме на остронаправленные антенны. Она наиболее желательна для использования в переносных и мобильных приемниках, имеющих антенны с практически круговой диаграммой направленности. Конкретный выигрыш от применения разнесенного приема зависит от разницы уровней и относительной задержки сигналов от передатчиков первой и второй групп и рассчитывается в процессе частотно-территориального планирования. Схема наиболее эффективна в сетях со значительным перекрытием зон вещания передатчиков.

Заметим — при их применении необходимо учитывать: не все опции взаимно совместимы, каждая имеет свою область применения. Например, один из двух алгоритмов снижения пик-фактора COFDM-сигнала из приведенных в стандарте, так называемая «техника расширения созвездия» не-совместима с технологией поворота созвездия. Что касается области применения различных опций системы DVB-T2 и правильного выбора параметров ее работы, целесообразным здесь представляется отметить, что консорциумом DVB с участием Европейского вещательного союза (EBU) разработан специальный документ «Руководящие положения по внедрению системы наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения (DVB-T2)», в котором, в частности, есть раздел, посвященный выбору параметров системы и способам ее конфигурирования. Этим документом следует руководствоваться при проектировании системы.

Варианты применения систем DVB-T2

Как справедливо отмечается, система DVB-T2 является очень гибкой, поддерживая различные компромиссы между пропускной способностью и помехоустойчивостью, как и между легкостью приспособления к различным коммерческим задачам и накладным расходам. Например, может

использоваться в очень простой конфигурации для передачи нескольких программ телевидения высокой четкости в составе одного физического канала с фиксированным приемом на крыше. В этом случае некоторые типичные параметры могут быть следующими:

- Параметры модуляции 256QAM с кодовой скоростью $3/5$ или $2/3$, которые обеспечивают максимально возможную пропускную способность при фиксированном приеме на крыше здания.
- Размер быстрого преобразования Фурье (БПФ) 32К, защитный интервал $1/128$ — для многочастотного варианта вещания при максимальной пропускной способности.
- БПФ 32К, защитный интервал $19/128$ (обеспечивают абсолютное значение защитного интервала 532 мкс и радиус зоны около 80 км) — для варианта вещания в национальной одночастотной сети.

Эти конфигурации могут обеспечить пропускную способность от 36 до 40 Мбит/с для многочастотной сети и от 29 до 32 Мбит/с в случае одночастотной сети.

Использование БПФ 32К возможно только при достаточно стабильном канале передачи, поэтому в сети, ориентирующейся на портативные и/или мобильные приемники, из-за эффекта Доплера должны использоваться более низкий размер БПФ и более помехоустойчивые созвездия. К примеру, при БПФ 8К с 64QAM и кодовой скоростью $1/2$ или $3/5$ система обеспечит устойчивый прием в более динамичных каналах и с более низким отношением несущей к шуму. При этом, конечно, будут доступны и более низкие скорости передачи: от около 16 до 26 Мбит/с в зависимости от выбора других параметров.

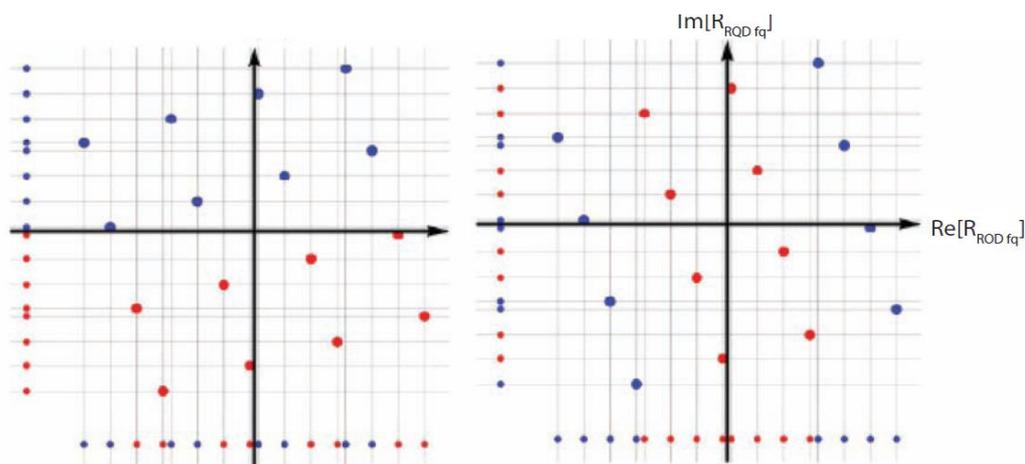


Рис.1. Повернутая диаграмма для модуляции 16QAM (показаны проекции точек созвездия на оси координат)

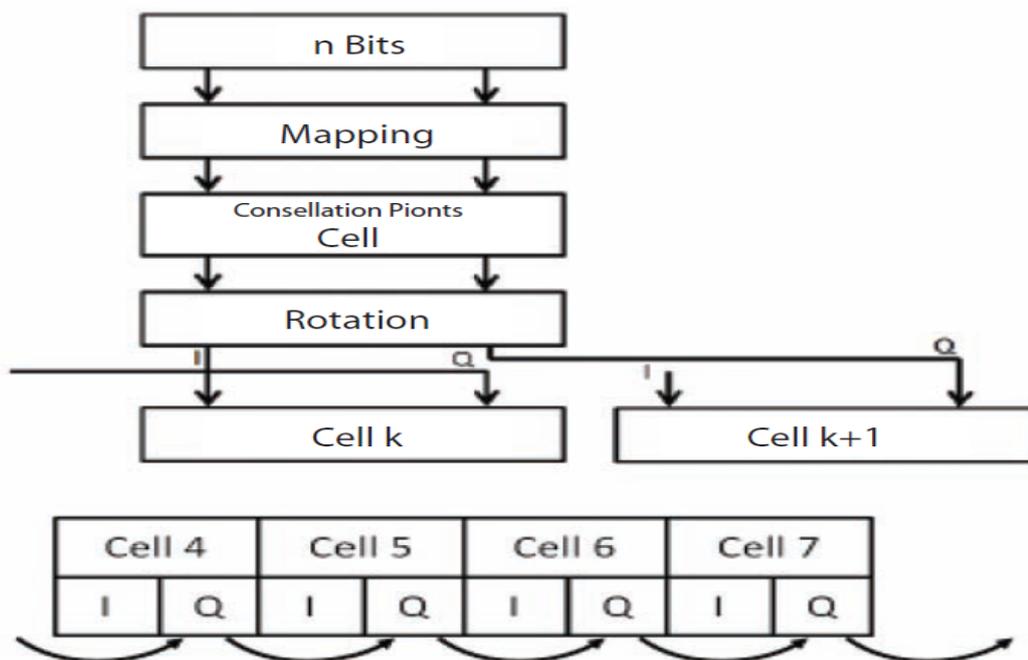


Рис. 2. Структура битового интерливинга и модуляции с поворотом QAM-отображения и задержкой.

Таблица 1. Улучшение производительности системы DVB-T2 при повороте созвездия и Q-задержке для двух режимов модуляции и кодовой скорости и кадрах длиной 64 800 битов.

| Канал | 16 QAM, кодовая скорость 4/5 | 64 QAM, кодовая скорость 9/10 |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Канал Релея с гладкими замираниями без стирания (многочастотная сеть) | 0,5 дБ | 1,2 дБ |
| Канал Релея с гладкими замираниями со стираниями (5%) (синхронная сеть) | - | 3,4 дБ |
| Канал Релея с гладкими замираниями со стираниями (15%) (синхронная сеть) | 6,0 дБ | 0*) |

*) улучшение отсутствует из-за недостаточной помехоустойчивости режима 64QAM

В таблицах 2 и 3 приведен еще ряд типичных вариантов исполнения системы DVB-T2 при организации приема на стационарные, переносные и мобильные приемники.

Таблица 2. Варианты исполнения системы DVB-T2 с приемом на крыше зданий.

| Исполнение | Много- частотная сеть | Одночастот- ная сеть с максималь- ной зоной покрытия | Одночастот- ная сеть с ограниченной площадью покрытия (выделение GE06) | Одночастот- ная сеть с большой площадью покрытия |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Вариант | 1 | 2 | 3а | 3б |
| Полоса | 8 МГц | 8 МГц | 8 МГц | 8 МГц |
| Режим БПФ | 32 k | 32 k | 32 k | 32 k |
| Режим несущих | Расширен- ный | Расширенный | Расширенный | Расширенный |
| Шаблон рассеянных несущих | PP7 | PP4 | PP4 | PP2 |
| Защитный интервал | 1/128 (28 мкс) | 1/8 (448 мкс) | 1/16 (224 мкс) | 1/8 (448 мкс) |
| Режим модуляции | 256QAM | 16QAM | 256QAM | 256QAM |
| Кодовая скорость | 02.03.11 | 02.03.11 | 02.03.11 | 02.03.11 |
| Отношение С/Ш (канал Райса) | 18,9 дБ | 10,6 дБ | 19,6 дБ | 20,0 дБ |
| Скорость передачи | 40,2 Мбит/с | 18,3 Мбит/с | 37 Мбит/с | 35,5 Мбит/с |

Таблица 3. Варианты исполнения с портативным и мобильным приемами

| Исполнение | Портативный прием, максимальная скорость | | Портативный прием, максимальная площадь покрытия | Портативный прием, оптимальное использование спектра | Мобильный прием в III диапазоне УВЧ | | Мобильный и портативный прием (общий мультиплекс для разных сервисов) | |
|---------------------------------|------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| | 4а | 4б | | | 7а | 7б | 8а Высокая скорость | 8б Низкая скорость |
| Вариант | 4а | 4б | 5 | 6 | 7а | 7б | 8а Высокая скорость | 8б Низкая скорость |
| Полоса | 8 МГц | 8 МГц | 8 МГц | 8 МГц | 1,7 МГц | 1,7 МГц | 8 МГц | 8 МГц |
| Режим БПФ | 16к | 32 к | 16к | 16к | 4к | 4к | 8к | |
| Режим несущих | Расширенный | | Расширенный | Расширенный | Нормальный | | Расширенный | |
| Шаблон рассеянных несущих | PP3 | PP3 | PP3 | PP3 | PP2 | PP2 | PP2 | PP2 |
| Защитный интервал | 1/8 (224 мкс) | 1/16 (224 мкс) | 1/8 (224 мкс) | 1/4 (448 мкс) | 1/8 (278 мкс) | 1/4 (576 мкс) | 1/4 (224 мкс) | |
| Режим модуляции | 64QAM | 64QAM | 16QAM | 64QAM | 16QAM | 16QAM | 64QAM | 16QAM |
| Кодовая скорость | 2/3 | 2/3 | 1/2 | 2/3 | 1/2 | 1/2 | 2/3 | 2/3 |
| Отношение С/Ш | 17,1 дБ | 17,1 дБ | 9,0 дБ | 17,1 дБ | 9,4 дБ | 9,4 дБ | 17,5 дБ | 9,4 дБ |
| Скорость передачи (канал Релея) | 26,2 Мбит/с | 27,7 Мбит/с | 13,1 Мбит/с | 23,6 Мбит/с | 2,5 Мбит/с | 2,2 Мбит/с | 22,4 Мбит/с | 11,2 Мбит/с |

Особенности построения синхронных сетей с использованием новых технологий

При всей своей многовариантности и гибкости стандарт DVB-T2 в наибольшей степени все же ориентирован на применение в одночастотных сетях цифрового телевидения при относительно высоких скоростях передачи. В этой связи, прежде всего, надо отметить, что в стандарте удалось обеспечить сочетание параметров, дающее большое абсолютное значение защитного интервала, а следовательно, и большой размер соты в синхронной сети при высокой пропускной способности системы. Такая возможность удовлетворения противоречивых требований (большая пропускная способность и одновременно большой размер соты) появляется при БПФ 32к, 256QAM и защитном интервале 19/128. Это связано с тем, что при БПФ 32к длительность символа в четыре раза больше, чем при 8к, что даже при сравнительно небольшой относительной величине защитного интервала 19/128, то есть при менее 15 процентах длительности символа, дает весьма высокое его абсолютное значение, равное 532 мкс, и, соответственно, беспрецедентно большой диаметр соты, равный 80 км.

Другой системной особенностью стандарта DVB-T2, очень полезной для использования в синхронных сетях, является применение концепции построения модулятора в виде устройства, распределенного в пространстве по передатчикам синхронной сети с использованием так называемого интерфейса модулятора T2-MI. Согласно этой концепции в модуляторе выделяется специальный блок, так называемый «T2-шлюз», в котором централизованно, на головной станции синхронной сети, выполняются операции по адаптации потока и адаптация режима, предусмотренные стандартом, а также операции по планированию кадра и по распределению

пропускной способности системы по каналам физического уровня. В этом блоке также может формироваться информация по синхронизации сети (аналог МР-пакетов в DVB-T). На выходе блока формируется интерфейс модулятора «Т2-МІ» — последовательность Т2 -МІ пакетов, которые по линиям привязки распределяются по собственно модуляторам передатчиков синхронной сети так, что каждый передатчик может однозначно создать идентичный эфирный сигнал с привязкой его частотно-временных параметров к единой системе синхронизации синхронной сети.

Такое решение позволяет не только экономить на аппаратурной реализации, но и строить сложные синхронные сети, когда ведущий передатчик выступает в качестве источника распределения для отдельных одночастотных сетей на другой частоте, и вся информация, необходимая для создания идентичных синхронизированных по времени сигналов, должна быть перенесена по эфиру.

Концепция Т2-шлюза позволяет также осуществить вставку регионального или местного контента в сеть распределения при наличии соответствующей пропускной способности Т2 -МІ потока и при использовании одного или нескольких выделенных каналов физического уровня. Это реализуется путем замены пакетов, относящихся к этим каналам, на местный контент, не затрагивая все остальное, содержащееся в Т2-МІ или DVB-T2 конфигурации. Поток пакетов Т2-МІ должен распространяться по линиям привязки. Для этого на выходе Т2-шлюза он должен быть инкапсулирован в соответствующие нижние слои протокола. Т2-МІ спецификация описывает способ переноса пакетов в транспортном потоке MPEG, который, в свою очередь, может быть перенесен через ASI-интерфейс как в DVB-T. Но спецификация Т2-МІ предоставляет также метод переноса MPEG-TS с использованием IP-протоколов, уже определенных для IPTV. Это дает возможность проводить распределение по IP-сетям, преодолевая такие неприятные особенности этих сетей, как потеря и нарушение порядка следования пакетов путем расщепления потока Т2-МІ пакетов с высокой скоростью передачи на несколько потоков с более низкой скоростью, которые затем рекомбинируют в передатчике зоны. Такой подход позволяет упростить и спутниковое распределения Т2-МІ потоков с очень высокой скоростью передачи.