

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИНХРОННОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ЭФИРНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

Г. В. Мамчев

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
630102, Новосибирск, Россия

УДК 621.397.6

Рассмотрены принципы построения двухуровневой синхронной сети эфирного цифрового телевидения при внедрении европейской системы наземного телевидения второго поколения DVB-T2. Проведен анализ особенностей формирования пакетов передаваемых данных. Показана возможность использования технологии разнесенного приема.

Ключевые слова: архитектура синхронной сети, потоковые низкочастотные кадры, кадры физического уровня, разнесенный прием, алгоритм Аламоути.

Principles of construction of double level network of terrestrial digital television of European second generation system are considered. Analysis peculiarities of forming packets of transfer data is examined. Possibility of utilization technology of special receiving is showed.

Key words: architecture of synchronous networks, stream low frequency frames, frames of physical level, special receiving, algorithm Alamouti.

Введение. Разработанный в 2008 г. Консорциумом DVB (digital video broadcasting (цифровое телевизионное вещание)) стандарт наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2 в наибольшей степени ориентирован на применение в одночастотных сетях цифрового телевидения при относительно высоких скоростях передачи данных (Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). DVB Document A122). Целью настоящей работы является анализ особенностей функционирования региональной одночастотной (single frequency network (SFN)) цифровой радиосети телевизионного вещания с учетом основных возможностей стандарта DVB-T2.

1. Архитектура двухуровневой синхронной сети телерадиовещания. Оптимальным способом исключения участков неудовлетворительного приема и расширения зоны вещания цифрового телевидения является создание одночастотных (синхронных) сетей вещания, в которых телевизионные программы транслируются на большую территорию параллельно через ряд радиопередатчиков (радиотелевизионных передающих станций (РТПС)), работающих на одной и той же частоте. Требование отсутствия “пробелов” в зоне покрытия приводит к необходимости использования установки радиопередатчиков с частично перекрывающимися областями охвата.

Наиболее эффективна работа одночастотных сетей в случае использования систем цифрового телевидения DVB-T и DVB-T2, в которых применяется способ модуляции COFDM (coded orthogonal frequency division multiplexing (частотное уплотнение ортогональных несущих частот с кодированием)), позволяющий работать в условиях многолучевого приема.

Параметры функционирования одночастотной сети телевизионного вещания

Параметры	Режим					
	32k	16k	8k	4k	2k	1k
Длительность защитного интервала, мкс	896; 448; 224; 112	448; 224; 112; 56	224; 112; 56; 28	112; 56; 28; 14	56; 28; 14; 7	28; 14; 7; 3,5
Максимальный разнос между радиопередатчиками в одночастотной сети, км	268,8; 134,4; 67,2; 33,6	134,4; 67,2; 33,6; 16,8	67,2; 33,6; 16,8; 8,4	33,6; 16,8; 8,4; 4,2	16,8; 8,4; 4,2; 2,1	8,4; 4,2; 2,1; 1,05

В таких сетях телевизионный приемник получает сигналы, приходящие с различной задержкой во времени, сразу от нескольких передатчиков. При этом длительность защитного интервала T_G , выбираемая в зависимости от числа номинальных поднесущих частот в OFDM-сигнале (в системе DVB-T2 — $1k, \dots, 32k$, где $k = 2^{10}$, т. е. 1024), должна удовлетворять условию $T_G \geq d/V_c$, где d — расстояние между соседними радиопередатчиками; V_c — скорость распространения электромагнитных колебаний. Возможные значения расстояния между соседними передатчиками в одночастотной сети при различной длительности защитного интервала приведены в таблице.

Для увеличения пропускной способности системы DVB-T2 в режиме 32k отношение защитного интервала к длительности полного символа OFDM рекомендуется выбирать равным 19/128 (Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). DVB Document A133). Это обеспечит абсолютное значение защитного интервала в пределах 530 мкс и допустимое расстояние между радиопередатчиками около 80 км. Следовательно, система DVB-T2 в режиме 32k позволяет создавать достаточно большие по площади региональные сети эфирного цифрового телерадиовещания.

Даже при особо тщательном планировании одночастотной сети на границе зоны уверенного приема имеются участки, где прием телевизионного сигнала затруднен или невозможен (низины ландшафта, местность за небольшим естественным возвышением, например холмом или высоким зданием). Модуляция COFDM позволяет решить эту проблему с помощью небольших по мощности передатчиков-ретрансляторов (gap fillers). Синхронные сети цифрового телерадиовещания, в состав которых дополнительно включены маломощные передатчики-ретрансляторы, получили название двухуровневых сетей (рис. 1).

Обязательным элементом региональной синхронной сети является головная станция (ГС), т. е. центр формирования мультиплексов (совокупности теле- и радиопрограмм, трансляция которых осуществляется с использованием одного радиочастотного канала). Составной частью ГС является DVB-T2 Gateway (шлюз), на вход которого подаются пакеты транспортных потоков MPEG-2 TS, а на выходе формируются кадры физического уровня (T2-кадры). Поток T2-кадров с помощью интерфейса модулятора T2-MI (T2-modulator interface), представляющего собой последовательный цифровой интерфейс, распределяется по спутниковым каналам или волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) региональной распределительной сети и непосредственно поступает на модуляторы радиопередатчиков синхронной сети, не излучаясь в эфир (Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI TS 102773 V.1.1).

При создании одночастотной сети наземного цифрового телевизионного вещания необходимо обеспечить синхронизацию каждого радиопередатчика сети как по времени, так и

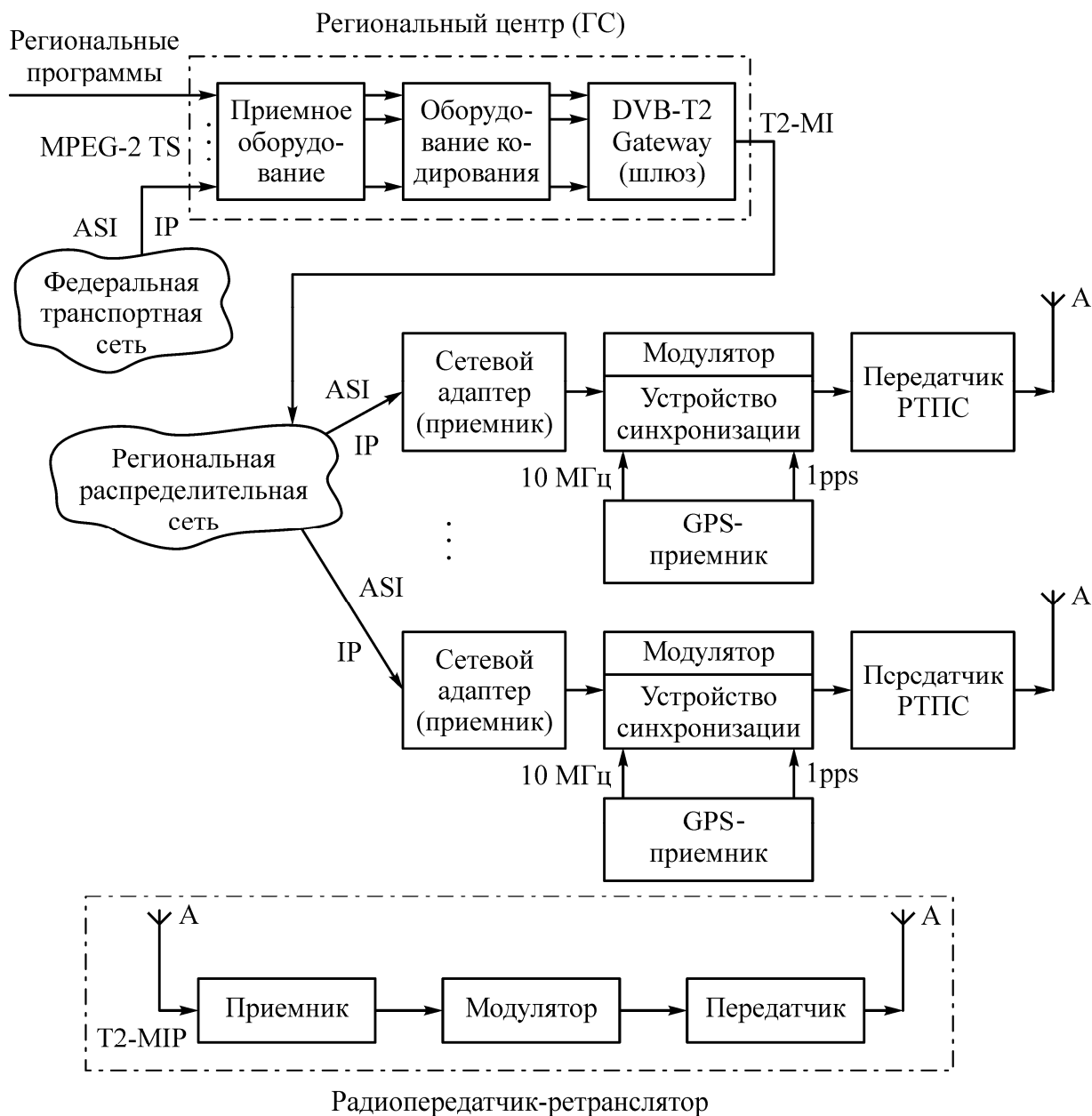


Рис. 1. Функциональная схема двухуровневой синхронной сети с передачей пакетов T2-MIP на ретрансляторы по эфиру:
 IP — Интернет-протокол; ASI (asynchronous serial interface) — асинхронный последовательный интерфейс

по частоте. На практике такая синхронизация осуществляется за счет фиксации сигналов системы глобального определения координат GPS (global positioning system) специальным приемником, входящим в комплект передатчиков. При этом каждый передатчик может создать идентичный эфирный сигнал с привязкой его частотно-временных параметров к единой системе синхронизации одночастотной сети.

COFDM-сигнал, передаваемый в системе DVB-T2, состоит из тысяч несущих частот, каждая из которых, передаваемая семейством радиопередатчиков, работающих в SFN, должна

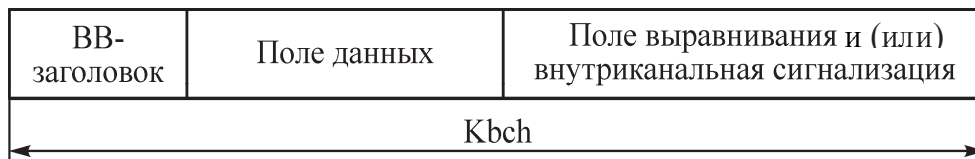


Рис. 2. Структура низкочастотного потокового ВВ-кадра
(Kbch — исходный блок данных перед BCH)

излучаться на одной и той же частоте. Требуемая стабильность частоты зависит от частотного интервала между соседними несущими, который называется разносом несущих частот. Для режима модуляции $8k$ разнос несущих частот составляет 1116 Гц, при этом стабильность частоты должна быть не менее 1,1 Гц (для режимов $4k$ и $2k$ — соответственно 2,2 и 4,5 Гц), для режима $32k$ — примерно 0,25 Гц.

2. Формирование передаваемых пакетов данных. Радиосеть DVB-T2 способна транслировать разнообразные по природе и структуре информационные пакеты.

Стандарт различает три основных типа информационных потоков:

- транспортный поток (transport stream (TS));
- обобщенный инкапсулированный поток (generic encapsulated stream (GES));
- обобщенный непрерывный поток (generic continuous stream (GCS)).

Каждый поток представляет собой последовательность пользовательских пакетов (user packet (UP)). Транспортный поток — это последовательность пакетов, имеющих фиксированную длину 188 байт, т. е. пакеты MPEG-2-TS, первый байт которых всегда синхробайт со значением 47_{16} (01000111). Поток GES характеризуется пакетами переменной или фиксированной длины, которая указывается в заголовках этих пакетов. Поток GCS представляет собой непрерывный поток бит. Это либо последовательность пакетов без указания их длины, либо пакеты максимально возможной длины 64 кбит.

Пакеты каждого магистрального потока объединяются в потоковые низкочастотные кадры (base band (BB)) отдельно для каждого потока (рис. 2). Осуществляется инкапсуляция данных информационных потоков в низкочастотные ВВ-кадры.

Стандарт DVB-T2 ориентирован на передачу телевизионных потоков, в которых иногда используются пустые пакеты (выравнивающие скорости потока, создающие задержки для сохранения постоянства его скорости). Поэтому в DVB-T2 предусмотрены средства удаления этой избыточной информации, но с возможностью ее восстановления на приемном конце.

В ВВ-заголовке, размер которого равен 80 бит, содержится информация о типе транспортного потока, размере поля данных, наличии режимов удаления пустых пакетов. Сумма размеров поля данных с заголовком и выравнивающего поля не должна превышать 53 770 бит.

Сформированный ВВ-кадр скремблируется (рандомизируется путем умножения на псевдослучайную последовательность) и подвергается корректирующему кодированию с помощью каскадного кода. В качестве внешнего кода применяется код BCH (Bose — Chaudhuri — Nocsquenghem), внутреннее кодирование осуществляется с помощью кода LDPC (low density parity check (низкая плотность проверки на четность)). Таким образом, после обработки ВВ-кадра формируется кодовое слово (рис. 3).

Выходной размер кодового слова после LDPC-кодирования всегда составляет 64 800 бит. В рамках стандарта DVB-T2 доля контрольных битов помехозащитных кодов (BCH, LDPC)

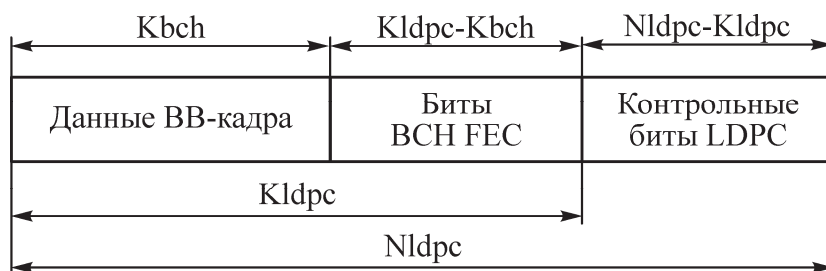


Рис. 3. Структура кодового слова:

K_{ldpc} — кодовое слово после BCH-кодирования перед LDPC-кодированием;

N_{ldpc} — кодовое слово после LDPC-кодирования

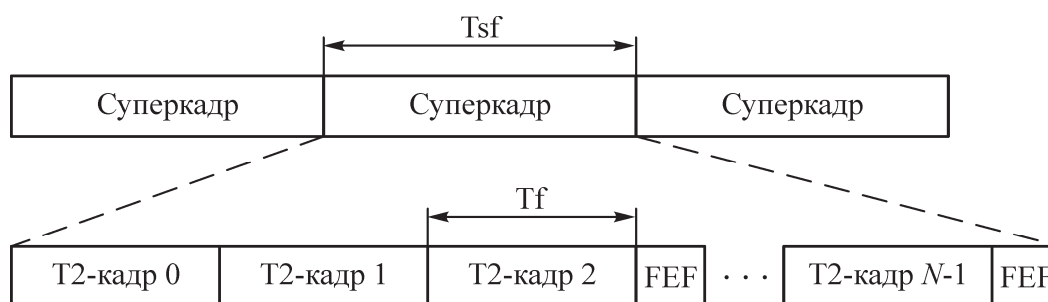


Рис. 4. Структура кадров в системе DVB-T2

FEC (forward error correction — опережающая коррекция ошибок) может составлять от 15 до 50 % выходного размера кодового слова.

Генерация потока T2-MI происходит следующим образом: в тот момент, когда формирование ВВ-кадра заканчивается, он вставляется в T2-кадр с соответствующей информацией в заголовок и отправляется через T2-MI-интерфейс к модуляторам радиопередатчиков.

Кадр физического уровня DVB-T2 (T2-кадр) начинается с преамбулы P1 (рис. 4), представляющей собой OFDM-символ с модуляцией DBPSK (differential binary phase shift keying (дифференциальная двоичная фазовая манипуляция)), двумя защитными интервалами с двух сторон (в сумме половины длительности символа). Данный символ, служащий для синхронизации, идентификации цифрового потока DVB-T2, содержит семь информационных битов с начальной информацией о T2-кадре, а именно число номинальных поднесущих частот k в OFDM-сигнале и формат передачи следующей за P1 преамбулы P2: режимы MISO (multiple inputs, single output (системы с несколькими передающими и одной приемной антеннами)) или SISO (single input, single output (системы с одной передающей и одной приемной антеннами)). Вся остальная информация о T2-кадре (длина, модуляция, скорость кодирования и т. п.) передается в преамбуле P2, которая может занимать несколько OFDM-символов. Далее следует поле данных (информационные OFDM-символы). Замыкает T2-кадр специальный завершающий OFDM-символ. В зависимости от параметров OFDM в T2-кадре может быть от 60 до 2098 OFDM-символов при полосе передачи радиоканала 8 МГц. Максимальная длительность T2-кадра — 250 мс.

T2-кадры объединяются в суперкадр. Помимо T2-кадров в суперкадр входят поля, зарезервированные для дальнейшего использования (future extension frames (FEF)). Они могут

Преамбула P1	Преамбула P2	Общий поток	Потоки типа 1	Потоки типа 2	Вспомогательные потоки
-----------------	-----------------	----------------	------------------	------------------	---------------------------

Рис. 5. Общая структура T2-кадра

чередоваться в произвольном порядке. Максимальная длительность суперкадра — 128 с. Если в суперкадре отсутствуют FEF, то его максимальная длительность T_{sf} равна 64 с, что соответствует 256 T2-кадрам, длительность каждого из которых равна 250 мс.

В системе DVB-T2 формирование OFDM-символов неразрывно связано с распределением модулируемых поднесущих частот между логическими потоками информации (physical layer pipes (PLP)). При этом в DVB-T2 возможна одновременная передача нескольких транспортных потоков, каждый из которых помещается в индивидуальный поток PLP. Фактически возможны два режима работы: режим А с передачей одной PLP и режим В с передачей нескольких PLP. Таким образом, система DVB-T2 допускает сосуществование в одном радиочастотном канале сигналов, передаваемых с различной степенью помехоустойчивости. Например, одна часть сигналов, передаваемых по одному радиоканалу шириной 8 МГц, может быть предназначена для телеприема на направленные антенны, установленные на крышах зданий, а другая часть — для приема на комнатные портативные антенны.

Формирование OFDM-символов неразрывно связано с распределением фрагментов различных магистральных потоков как внутри T2-кадра, так и в рамках суперкадра. С этой точки зрения стандарт выделяет три типа потоков: PLP-общий, а также потоки данных типа 1 и типа 2. Общий поток PLP — это информация, общая для группы, состоящей из нескольких PLP (например, таблицы программ и сервисов PSI/SI (program specific information/service information) для нескольких транспортных потоков). Потоки PLP типа 1 в T2-кадре не подразделяются на фрагменты, иными словами, в каждом T2-кадре может быть только один фрагмент каждого потока PLP типа 1. Наконец, потоки типа 2 в T2-кадре могут разделяться на несколько фрагментов (от 2 до 6480), следующих в кадре попеременно (рис. 5).

Следует учитывать, что в DVB-T2 применяются также пакеты T2-MIP (T2-modulator information packet (информационные пакеты модулятора T2)), предназначенные для синхронизации передатчиков-ретрансляторов, действующих в составе двухуровневых синхронных сетей, на которые полезные данные, информация о синхронизации и индивидуальная информация передаются не по линиям привязки распределительной сети, а по эфиру от ближайшей передающей станции синхронной сети.

3. Использование технологии разнесенного приема в синхронной сети теле радиовещания. В сети SFN-типа при размещении радиопередатчиков в отдельных зонах синхронной сети на границах смежных зон всегда присутствуют сигналы от соседних передатчиков, причем в некоторых точках сети расстояние от приемников до соседних передатчиков одно и то же. В этом случае прием сигналов соседних передатчиков на ненаправленную антенну приводит к возникновению селективных по частоте замираний. Однако система цифрового телевизионного вещания DVB-T2 потенциально обеспечивает возможность эффективной борьбы с селективными замираниями с одновременным увеличением общей зоны обслуживания синхронной сетью SFN (расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней мертвых зон) за счет реализации разнесенного приема в режиме MISO 2×1 (multiple inputs — single output (множественный (двойной) вход — один выход)) с кодированием по модифицированной схеме Аламоути.

При разнесенном приеме все радиопередатчики сети делятся на две группы, так чтобы на границе смежных зон на входе приемников всегда присутствовали сигналы от передатчиков первой и второй групп. При этом каждая пара поднесущих частот (их всегда четное количество), излучаемых передатчиками обеих групп, кодируется таким образом, чтобы все поднесущие частоты первой группы излучались без внесения каких-либо изменений, в то время как поднесущие частоты второй группы перед излучением попарно обе подвергались операции комплексного сопряжения путем умножения на -1 (вторая поднесущая условно) и перестановке (вторая поднесущая становится первой). Эта технология дает результат, эквивалентный результату, получаемому при разнесенном приеме: 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 такое же, как и в случае объединения в эфире мощностей двух сигналов. Это позволяет расширить пограничную область между смежными зонами (отодвинуть друг от друга границы зон) и соответственно увеличить зону обслуживания всей синхронной сети.

Однако для реализации режима разнесенного приема помимо обеспечения кодирования в передатчиках необходимо, чтобы приемники включали несколько дополнительных перемножителей для обработки сигналов по алгоритму Аламути, а также дублировали некоторые элементы схемы оценки канала. Необходимо также значительное увеличение объема служебной информации, поскольку количество рассеянных пилот-сигналов для заданных значений защитного интервала и размера быстрого преобразования Фурье должно быть удвоенно. Стандарт допускает применение этой технологии при значениях защитного интервала не более $1/8 \div 19/128$, что ограничивает размер зоны вещания. Данная технология, которая не может быть применена при приеме на остронаправленные приемные антенны, наиболее эффективна для использования в переносных и мобильных приемниках, имеющих антенны с практически круговой диаграммой направленности. Выигрыш от применения разнесенного приема зависит от разности уровней и относительной задержки сигналов от передатчиков первой и второй групп и рассчитывается в процессе частотно-территориального планирования. По приблизительным подсчетам, в этом случае площадь синхронной сети может быть увеличена на 30 %. Схема разнесенного приема наиболее эффективна в сетях со значительным перекрытием зон вещания передатчиков.

Заключение. Система наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2, работающая в режиме 32k с использованием схемы разнесенного приема, позволяет создавать достаточно большие по площади синхронные региональные сети эфирного цифрового телерадиовещания.

*Мамчев Геннадий Владимирович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики;
тел.: (383) 269-82-62; e-mail: mamtchev@sibsutis.ru*

Дата поступления — 28.02.12 г.