

## Специфика коррекции характеристик радиоканала в системе цифрового телевидения по стандарту DVB-T

**Аннотация.** Доклад посвящен особенностям оценки характеристик радиоканала и повышению эффективности восстановления символов в структуре текущих кадров системы цифрового телевидения по стандарту DVB-T.

В докладе рассмотрены основные положения стандарта DVB-T, вопросы формирования сигнала COFDM, приведены рисунки, поясняющие формирование кадра OFDM. В материале доклада предложен новый, адаптивного типа, алгоритм оценки текущего состояния АЧХ сквозного радиоканала и восстановления информационных символов.

При внедрении стандарта наземного (эфирного) цифрового телевизионного вещания DVB-T (Terrestrial – наземный) разработчики столкнулись с необходимостью обеспечить высокое качество передачи сигналов изображений при наличии значительного уровня атмосферных и промышленных помех, отражённых радиоволн (многолучевой приём) и помех от других, смежных по местоположению в пространстве, радиопередатчиков, работающих в этом же частотном диапазоне.

В основе стандарта DVB лежит стандарт кодирования сигналов телевизионных изображений и звукового сопровождения MPEG – 2. В этом отношении система DVB-T совместима со спутниковой (DVB-S) и кабельной (DVB-C) системами цифрового телевизионного вещания.

Вместе с тем стандарт DVB-T использует существенно отличающийся метод модуляции, позволяет варьировать степень защищенности, коррекцию ошибок и в соответствии с этим скорость передачи информационного потока, обеспечивая возможность выбора конкретного режима передачи данных. Способом модуляции для системы наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T является COFDM (Coded Orthogonal Division Multiplexing) – ортогональное частотное мультиплексирование совместно с помехоустойчивым канальным кодированием. Этот вариант модуляции был специально разработан для борьбы с помехами при многолучевом приёме.

Режим 2K стандарта DVB-T пригоден для вещания одиночным передатчиком и для построения малых одночастотных сетей с ограниченными расстояниями между передатчиками. Режим 8K применяется в тех случаях, когда необходимо построение больших одночастотных сетей. В канале с шириной полосы 8 МГц радиосигнал OFDM

занимает полосу 7,61 МГц, а разнос несущих равен 4464 Гц – режим 2К или 1116 Гц – режим 8К. Для режима 2К характерна более высокая эффективность мобильного приёма, а для режима сигнала 8К – высокая устойчивость функционирования в условиях многолучёвости.

Изменяя параметры защитного интервала (от 1/4 до 1/32), коррекцию ошибок (от 1/2 до 7/8) и первичные виды модуляции (4-ФМ, 16-КАМ или 64-КАМ), можно получать в системе DVB-T широкий разброс скоростей передачи от 4,98 до 31,67 Мбит/с в полосе частот стандартного, для России, телевизионного радиоканала (8 МГц).

Каждый кадр системы DVB-T состоит из 68 символов с номерами от 0 до 67, которые содержат полезные данные и служебную информацию, требующуюся для обеспечения правильного декодирования в приёмнике (рис. 1).

Таким образом, каждый символ OFDM содержит 6817 поднесущих в режиме 8К и 1705 поднесущих в режиме 2К. При этом число сигналов информационных поднесущих (полезных данных) является неизменным от символа к символу и, за вычетом служебных поднесущих, составляет 6048 в режиме 8К и 1512 в режиме 2К.

Структура размещения сигналов информационных и опорных поднесущих (пилотов) в кадре OFDM показана на рис. 1.



Рис. 1. Структура размещения пилотов в кадре OFDM

Передаваемая в пределах кадра OFDM служебная информация содержит:

- ячейки рассредоточенных (рассеянных) пилот-сигналов;
- поднесущие с непрерывно повторяющимися пилот-сигналами;
- поднесущие сигнализации о параметрах передачи (TPS).

Пилот-сигналы получаются в результате модуляции несущих псевдослучайной последовательностью, и используются прежде всего для синхронизации. Они распределены во времени и в частотном спектре сигнала OFDM, их амплитуды и фазы известны в точке приема, поэтому их можно использовать также для получения сведений

о характеристиках канала передачи. В системе используются два типа пилот-сигналов: непрерывные и распределенные. Непрерывные пилот-сигналы передаются на одних и тех же несущих в каждом символе OFDM, распределенные - рассеяны равномерно во времени и в частотном диапазоне. Непрерывные пилот-сигналы могут использоваться для синхронизации и оценки фазовых шумов канала, распределенные - для оценки характеристик канала посредством временной и частотной интерполяции. Использование интерполяции в промежутках между распределенными пилот-сигналами при достаточной мощности принимаемого сигнала может обеспечить улучшение приема на движущихся объектах, например, на поездах и автомобилях.

В докладе предлагается адаптивный алгоритм оценки текущего состояния АЧХ сквозного радиоканала и восстановления информационных символов.

Согласно рис.1., в кадре COFDM совместно с информационными данными передаются опорные сигналы (распределенные и непрерывные пилот-сигналы), параметры и структура которых известна приёмнику, а также несущие сигналы параметров передачи. В частности, передаваемые непрерывные и распределенные пилот-сигналы позволяют на приемной стороне с ограниченной точностью вычислить изменения результирующей АЧХ и с применением интерполяционных методов скомпенсировать ее искажения. Искажения частотной (АЧХ) характеристики канала передачи обусловлены суперпозицией при многолучевом приёме составляющих радиосигнала с различными относительными задержками. Проведённый с помощью относительно простой модели анализ показал, что средняя частота “гребенчатого” типа пульсаций в уровне АЧХ существенно возрастает с увеличением разницы в относительной задержке составляющих радиосигналов, а глубина режекции сквозной АЧХ - при сравнимых амплитудах указанных составляющих. Следовательно, в условиях равенства амплитуд нескольких составляющих может резко деградировать качество приёма из-за полного подавления в пределах частотной оси, например, отдельных из непрерывных пилот-сигналов.

В материале доклада предложен адаптивный алгоритм оценки текущего состояния АЧХ сквозного радиоканала и восстановления информационных символов.

В текущем времени оценивается характер и степень изменений (от символа к символу) АЧХ радиоканала. В отсутствии значительных изменений АЧХ радиоканала происходит накопление элементов общей структуры опорных несущих по нескольким символам OFDM, пока степень изменений АЧХ не выйдет за пределы заданного порога. Восстановление информационных символов производится в этом случае по накопленным за время отсутствия значительных изменений АЧХ пилот-сигналам и имеет высокую точность за счет относительно высокой частоты следования опорных несущих в

пространстве «частота – время». В случае же появления значительных (превышающих заданное пороговое значение) изменений АЧХ во времени, прекращается накопление опорных несущих и осуществляется переход на вариант работы в пределах одного/двух или более символов OFDM, когда накопление практически отсутствует и восстановление происходит с использованием текущих опорных несущих.

Для восстановления информационных символов предложено использовать как частотную (при фиксированном времени) так и временную (при фиксированной частоте) интерполяцию с определенным весовым сочетанием результатов обоих вариантов интерполяции. При этом изменения весового сочетания результатов фактически определяются в текущем времени производными функции, отражающей зависимость уровня опорных несущих по направлениям частоты и времени. В случае, например, когда степень изменения опорных несущих во времени превышает заданный порог, возможно использование только результата интерполяции по частотному направлению, а при уменьшении динамических изменений АЧХ радиоканала возрастает вклад результатов интерполяции по временному направлению.

В связи с тем, что для разработанного алгоритма в общем случае характерным является неравномерное расположение узлов, то в данном разделе работы восстановление информационных сигналов предлагается осуществлять с применением интерполяционной формулы Ньютона:

$$P_n(x_0 + th) = y_0 + \frac{t}{1!} \Delta y_0 + \frac{t(t-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \dots + \frac{t(t-1) \dots (t-n+1)}{n!} \Delta^n y_0, \text{ где}$$

$x_0, x_1, \dots, x_n$  - узлы интерполяции, расположены на равных расстояниях ( $x_k = x_0 + kh$ ),  
 $x_0 + th = x$ , а  $\Delta^k$  — разности  $k$ -го порядка:  $\Delta^k y_i = \Delta^{k-1} y_{i+1} - \Delta^{k-1} y_i$ ,  
 $h$  - шаг интерполяции.

В случае отсутствия выраженных изменений АЧХ радиоканала во времени в пределах 68 символов OFDM (кадр OFDM) осуществляется переход к укрупненному алгоритму адаптивной оценки текущего состояния АЧХ сквозного радиоканала и восстановления информационных символов. Здесь снова оценивается степень изменений АЧХ сквозного радиоканала во времени. Далее, в зависимости от результатов оценки, либо сразу производится восстановление информационных символов, либо при допустимой степени (скорости) изменений АЧХ во времени производится накопление опорных сигналов 2, 3 или 4 кадров OFDM и восстановление информационных символов кадра OFDM с учетом всей полученной информации о текущем состоянии радиоканала. Следовательно, при отсутствии выраженных (выше порога) изменений во времени АЧХ сквозного

радиоканала восстановление информации осуществляется с использованием всех рассредоточенных опорных несущих, накопленных за 4 кадра OFDM (рис.2).

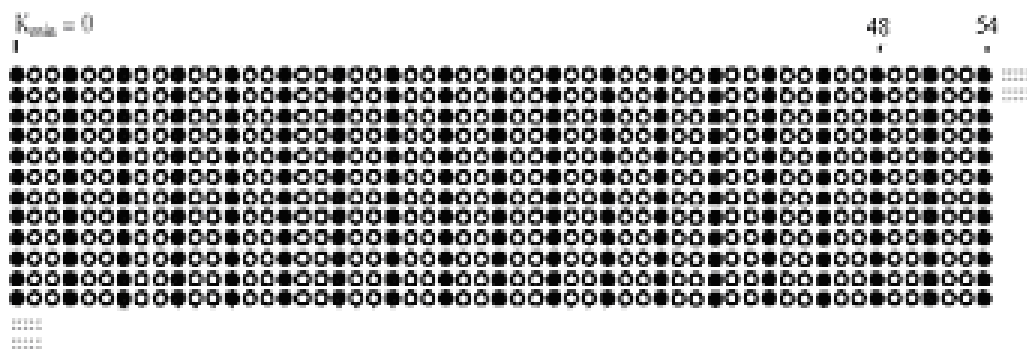


Рис. 2. Иллюстрация к работе адаптивного алгоритма восстановления АЧХ радиоканала при отсутствии изменений АЧХ во времени и накоплении числа опорных несущих.

Такой вариант обеспечивает максимально возможную точность восстановления (интерполяции) АЧХ. Кроме этого, в данном случае выполняется условие равномерности расположения узлов интерполяции, что даёт возможность восстановления АЧХ в ячейках пространства «частота-время», совпадающих по координатам с информационными несущими, с использованием упрощенных интерполяционных формул.

Разработанный адаптивный алгоритм восстановления информационных символов позволяет эффективно использовать ресурсы структуры кадра OFDM в различных условиях приема пользователем DVB-T сигнала и типах радиоканалов и имеет потенциальные возможности по его доработке при учете специфики локального изменения анализируемых пилот-сигналов по различным в пространстве «частота-время» фиксированным направлениям. К тому же, в каждой локальной области указанного пространства следует определять эффективный вариант весовой обработки результатов интерполяционного восстановления АЧХ, выполненного по выбранным ортогональным направлениям в частотно-временном пространстве.

Для излучаемого радиосигнала DVB-T характерно также появление высокоградиентных изменений уровня, значительно превышающих его среднее, в пределах динамического диапазона, значение. В текущем режиме работы передатчика при этом имеют место относительно кратковременные, но значительные по амплитуде пульсации выходного радиосигнала. Алгоритмы работы устройств компенсации указанных искажений должны разрабатываться с учётом параметров и распределения поднесущих в кадрах OFDM.

Таким образом, в содержании доклада представлен разработанный в научном отделе “Цифрового телевидения и видеоинформатики” МТУСИ алгоритм оценки текущего

состояния амплитудно-частотной характеристики сквозного радиоканала, рассмотрена специфика и параметры стандарта DVB-T, приведены характеристики и определены направления повышения эффективности функционирования передающего и приёмного оборудования соответствующей системы цифрового телевизионного вещания.

#### Литература

1. ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television". ETS 300 744, (A1) Version 1.4.1, 49 p., Jan. 2001.
2. Безруков В.Н., Логинов Н.А., Панченко В.Е., Севальнёв Л.А. Цифровое телевизионное вещание по международным стандартам MPEG-2 и DVB// Электросвязь, № 6, 1998г., с.13 – 16.
3. Севальнёв Л.А. Канальное кодирование и модуляция при передаче цифровых телевизионных сигналов с информационным сжатием данных. Учебное пособие.М.: МТУСИ, 2004 г., 33с.