

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

J.240

(06/2004)

СЕРИЯ J: КАБЕЛЬНЫЕ СЕТИ И ПЕРЕДАЧА
СИГНАЛОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И ЗВУКОВЫХ
ПРОГРАММ И ДРУГИХ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ
СИГНАЛОВ

Измерение качества сервиса

**Структура дистанционного мониторинга
отношения сигнал/шум передаваемого
изображения с использованием
расширенного спектра и ортогонального
преобразования**

Рекомендация МСЭ-Т J.240

Рекомендация МСЭ-Т J.240

Структура дистанционного мониторинга отношения сигнал/шум передаваемого изображения с использованием расширенного спектра и ортогонального преобразования

Резюме

В настоящей Рекомендации рассматривается действующая структура дистанционного мониторинга качества видеосигнала для ввода и первичного осуществления передачи цифрового телевидения. В этой структуре выделение признаков производится в каждом пункте звена в цепи передачи с использованием расширенного спектра и ортогонального преобразования. Выделенные признаки изображения, т.е. коэффициенты, поступают в центральный зал мониторинга по каналу передачи данных, который определен от канала передачи видео сигнала; затем путем сравнения этих коэффициентов производится оценка качества изображения.

Ниже рассматривается структура выделения этих коэффициентов. В Дополнении I излагаются теоретическое обоснование оценки отношения PSNR, а также результаты моделирования, показывающие эффективность этой структуры.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т J.240 была одобрена 29 июня 2004 г. 9-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции I ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации носит добровольный характер. Однако в публикации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соответствие данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие, как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© ITU 2005

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения	1
2 Ссылки	1
2.1 Нормативные ссылки	1
2.2 Информативные ссылки	1
3 Определения	1
4 Сокращения	1
5 Мониторинг качества изображения на основе выделения коэффициентов преобразования	2
5.1 Конфигурация цепи передачи	2
5.2 Выделение признака изображения	3
5.3 Клиппирование, округление и кодирование коэффициентов	4
5.4 Дополнительная информация	4
5.5 Оценка PSNR	4
Дополнение I – Пример реализации	6
I.1 Выделение признака	6
I.2 Кодирование коэффициентов	6
I.3 Вычисление среднеквадратичной оценки MSE	6
I.4 Теоретические обоснования	7
I.5 Качественные характеристики	8

Рекомендация МСЭ-Т J.240

Структура дистанционного мониторинга отношения сигнал/шум передаваемого изображения с использованием расширенного спектра и ортогонального преобразования

1 Область применения

В настоящей Рекомендации рассматривается структура автоматического дистанционного мониторинга качества изображения. В предлагаемой структуре рассматривается выделение коэффициентов трансформации передаваемого изображения и их передача оператору мониторинга по дополнительному каналу передачи данных. Поскольку выделение и передача коэффициентов производятся отдельно от передачи видеосигналов от основной сети передачи данных, эта структура не приводит к вредному влиянию на качество передаваемого видеосигнала и, таким образом, может быть вполне применима к мониторингу передачи видеосигнала, для которой требуется высокое качество, как, например, для ввода и начальной передачи.

2 Ссылки

2.1 Нормативные ссылки

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- ITU-T Recommendation J.143 (2000), *User requirements for objective perceptual video quality measurements in digital cable television.*

2.2 Информативные ссылки

- ITU-T Recommendation J.144 (2004), *Objective perceptual video quality measurement techniques for digital cable television in the presence of a full reference.*
- ITU-T Recommendation J.147 (2002), *Objective picture quality measurement method by use of in-service test signals.*
- ITU-R Recommendation BT.656-4 (1998), *Interfaces for digital component video signals in 525-line and 625-line television systems operating at the 4:2:2 level of Recommendation ITU-R BT.601 (Part A).*

3 Определения

В настоящей Рекомендации дается определение следующему термину:

- 3.1 узел:** Пункт соединительной линии в цепи передачи.

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

DEC	Декодер
ENC	Кодер
OT	Ортогональное преобразование
PSNR	Отношение пикового сигнала к шуму

SS Широкий (расширенный) спектр
WHT Преобразование Уолша-Адамара

5 Мониторинг качества изображения на основе выделения коэффициентов преобразования

5.1 Конфигурация цепи передачи

Конфигурация исходной цепи передачи представлена на рисунке 1. Она предполагает, что на каждом конце (узлы 0 и 1) имеет место модулирующий сигнал канала передачи видеосигнала, в состав которого включены кодирующее и декодирующее устройства.

Видеосигнал осуществляется от основной сети передачи данных в узлах 0 и 1; эти ответственные сигналы попадают в устройство выделения признаков. Информация о выделенных признаках PSNR оценочное устройство по каналу передачи видеосигнала PSNR оценочное устройство измеряет качество передачи PSNR, используя для этой цели информацию о признаках в каждом узле.



Рисунок 1/J.240 – Базовая конфигурация

Хотя на рисунке 1 предоставлена конфигурация для мониторинга одного звена, ее можно расширить и использовать для мониторинга цепи передачи, что достигается посредством каскадного подключения этого одного звена, как это представлено на рисунке 2. На рисунке 2 устройства выделения признаков подключаются на каждом узле рассматриваемой цепи передачи; при этом информация о признаках, поступившая от двух узлов, между которыми производится мониторинг качества передачи, и на основании этой информации о выделенных признаках осуществляется оценка отношения PSNR.

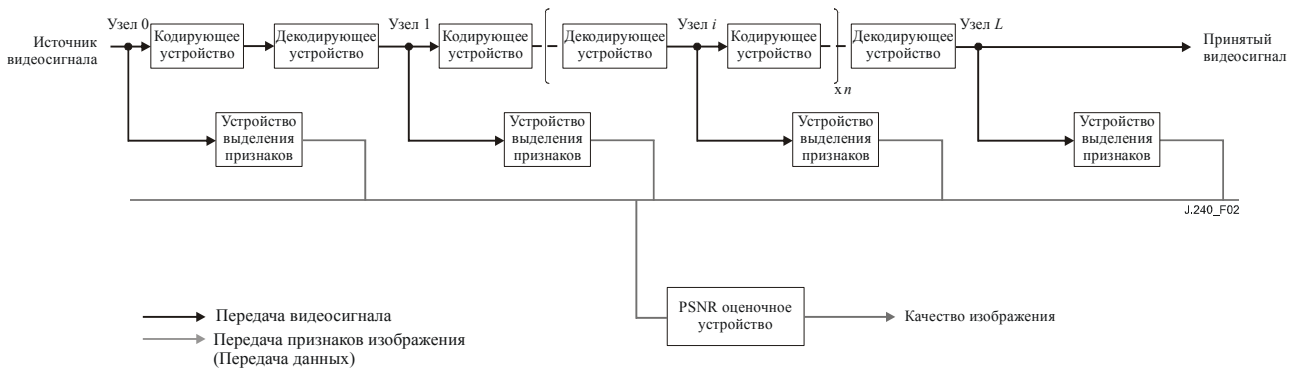


Рисунок 2/J.240 – Мониторинг цепи передачи

5.2 Выделение признака изображения

Признак изображения выделяется в каждом блоке пикселей размером $N_x \times N_y$. Когда количество пикселей в горизонтальном и вертикальном направлениях оказывается неравным кратному числу N_x и N_y , соответственно, то дополнительно вводится среднее значение пикселей с тем, чтобы число их стало равным N_x и N_y .

На рисунке 3 представлена операция по выделению признака изображения. Признак изображения получается посредством комбинации расширенного спектра и ортогонального преобразования. Пусть $x_f^{(b)}(n)$ и $s_{PN}^{(b)}(n)$ означают входной сигнал блока в кадре f и псевдошумовую последовательность (PN – последовательность) блока b , соответственно, где n – это индекс пикселей. В этом случае признак изображения $R_f[b]$ получается с помощью ортогонального преобразования ОТ следующим образом:

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ X_f^{(b)}[k_0] \right\} \quad (1)$$

$$X_f^{(b)}[k] = (SSOT) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT \left\{ x_f^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\}, \quad (2)$$

где $SSOT$ означает расширенный спектр и ортогональное преобразование, $\text{Amp}[Z]$ амплитудная составляющая Z , а k_0 – позицию выделенного коэффициента.

$R_f[b]$ может быть, кроме того, определен с помощью обратного ортогонального преобразования OT^{-1} после умножения другой PN – последовательности s_{PN2} следующим образом:

$$R_f[b] = \text{Amp} \left\{ y_f^{(b)}[n_0] \right\} \quad (3)$$

$$y_f^{(b)}[n] = (SSOT_2) \left\{ x_f^{(b)}(n) \right\} \equiv OT^{-1} \left\{ X_f^{(b)}(k) s_{PN2}^{(b)}(k) \right\}, \quad (4)$$

где n_0 – это позиция выделенного коэффициента (в данном случае пикселя). Эта вторая реализация усиливает эффективность расширенного спектра посредством рандомизации пространственной области в дополнение к частотной области.

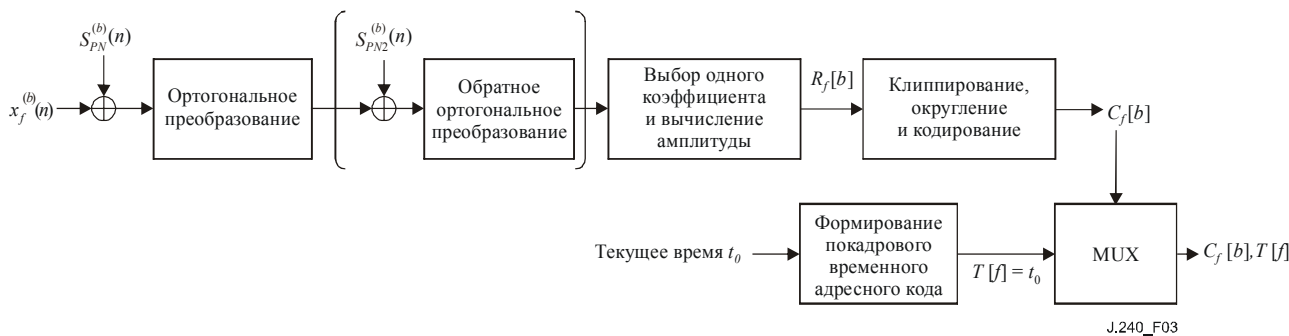


Рисунок 3/J.240 – Операция в устройстве выделения признака

Что касается PN – последовательности, то для каждого блока могут использоваться разные последовательности. Однако для каждого блока в изображении на всех узлах в цепи передачи должны использоваться одни и те же PN – последовательности. Это является обязательным требованием для синхронизации между узлами, которое рассматривается в пункте 5.3.

5.3 Клиппирование, округление и кодирование коэффициентов

Выделенный коэффициент $R_f[b]$ поступает в канал передачи данных. Поскольку коэффициент $R_f[b]$ является, как правило, действительным числом, клиппирование и округление используется для коэффициента $R_f[b]$ с тем, чтобы выразить этот коэффициент посредством ограниченной длины в битах. Сжатое кодирование необязательно применяется для сжатия данных при условии, что распределение вероятности коэффициента $R_f[b]$ смещается и, таким образом, ожидается, что количество информации будет уменьшено. Все закодированные коэффициенты в кадре или полукadre уплотняются, после чего производится вывод данных.

5.4 Дополнительная информация

В качестве дополнительной информации для PSNR оценочного устройства временная информация $T[f]$ может выводиться в устройстве выделения признака. Эта информация характеризует соответствие номеру кадра или полукадра времени вывода коэффициентов, которое совпадает с закодированными коэффициентами $C_f[b]$ на последней ступени устройства выполнения признака. Если имеется покадровый временной адресный код, например код LTC и код VITC, то рассматриваемый временной код можно передавать вместо времени вывода. Это используется для надстройки времени задержки признаков изображения в PSNR оценочном устройстве.

5.5 Оценка PSNR

Операция, выполняемая в PSNR оценочном устройстве, представлена на рисунке 4. Прежде всего, одновременно используемая информация, поступающая из двух узлов, которые располагаются на каждом конце звена, подлежащего мониторингу, разделяется, в результате чего получаются закодированные коэффициенты $C_{0f}[b]$, $C_{1f}[b]$ и временная информация $T_0[f]$, $T_1[f]$. Когда порядок поступления этих коэффициентов и временной информации не соответствуют порядку выхода признака в устройстве выделения признака, то полученная информация должна быть рассортирована с тем, чтобы гарантировать положение, при котором рассматриваемые коэффициенты и временная информация расположены согласно порядку номера кадра. Затем в случае кодирования этих коэффициентов производится их декодирование, в результате чего получают коэффициенты $D_{0f}[b]$ и $D_{1f}[b]$. После этого задержка между двумя узлами подстраивается с помощью рассматриваемых коэффициентов и временной информации $T_0[f]$ и $T_1[f]$.

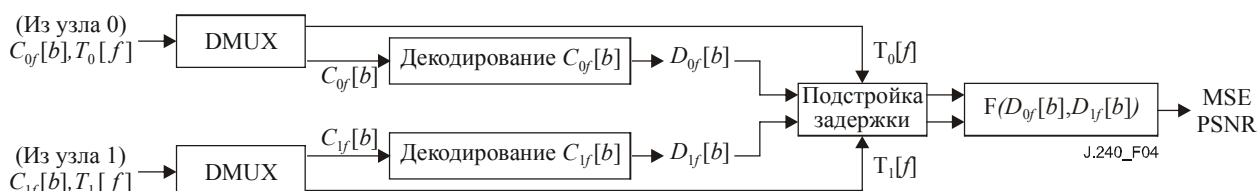


Рисунок 4/J.240 – Операции, выполняемые в PSNR оценочном устройстве

Необходимость в подстройке задержки представлена на рисунке 5. Здесь между двумя узлами имеет место задержка передачи видеосигнала d_V , а между каждым узлом и PSNR оценочным устройством – задержка передачи данных d_{C0} и d_{C1} . Коэффициенты кадра "F1", который выводится на экран в момент времени t_1 на стороне передачи, поступают в PSNR оценочное устройство в момент времени $t_1 + d_{C0}$ из узла 0 и в момент времени $t_1 + d_V + d_{C1}$ из узла 1, соответственно. Таким образом, время прибытия коэффициентов двух узлов, как правило, неодинаково и, следовательно, невозможно гарантировать положение, при котором координаты для одного и того же кадра поступят в PSNR оценочное устройство из двух узлов одновременно. Помимо этого некоторые процедуры передачи по каналу данных по каналу, не гарантируют, что порядок поступления рассматриваемых коэффициентов будет таким же, что и порядок передачи (т. е. порядок номеров кадров). Именно вследствие этого бессмысленно сравнивать коэффициенты, которые поступают в PSNR оценочное устройство из двух узлов одновременно. В PSNR оценочном устройстве следует выполнить синхронизацию коэффициентов, поступивших из двух узлов, в блоке "подстройка задержки" после сортировки этих коэффициентов в порядке передачи на выходе DMUX. Для этой цели можно использовать временную информацию $T_0[f]$ и $T_1[f]$.

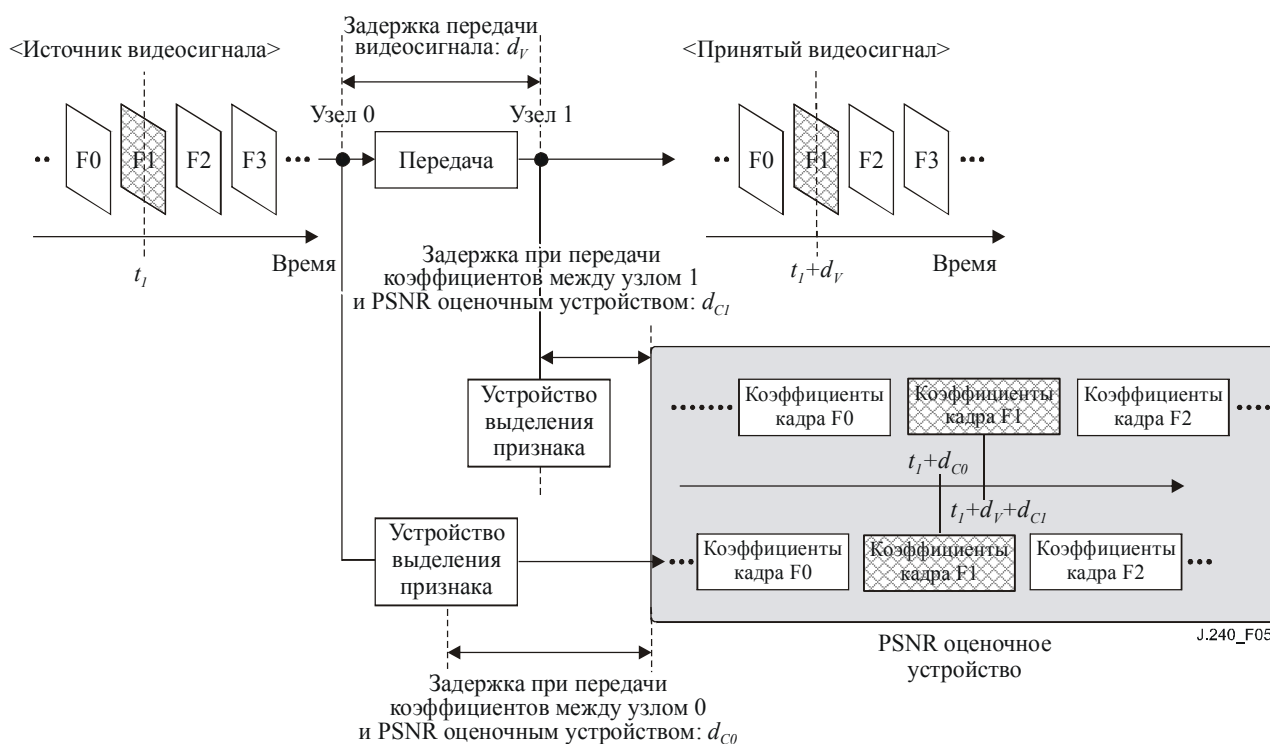


Рисунок 5/J.240 – Подстройка задержек между узлами

После выполнения синхронизации рассматриваемых коэффициентов ухудшение качества изображения, являющееся следствием передачи видеосигнала, вычисляется с помощью коэффициентов $D_{0f}[b]$ и $D_{1f}[b]$. Пусть значение MSE обозначает ухудшение. Оно может быть выражено следующим образом:

$$MSE = \text{Среднее значение} (D_{0f}[b] - D_{1f}[b])^2. \quad (5)$$

Отношение PSNR выводится из MSE (среднеквадратичной оценки) следующим образом:

$$PSNR = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{255^2}{MSE}}. \quad (6)$$

Посредством повторного выполнения вышеприведенной процедуры во всех кадрах можно получить качество изображения для рассматриваемого звена между узлами 0 и 1. Если же отношение PSNR должно использоваться для субъективных оценок качества, то крайне важно пользоваться кадрированным PSNR, то есть отношением PSNR, вычисленным с помощью участков видеосигнала, которые будут активными как в источнике видеосигнала, так и в обработанном видеосигнале. Именно кадрированное отношение PSNR в наибольшей степени коррелирует с субъективными оценками (характеристиками) качества.

Дополнение I

Пример реализации

I.1 Выделение признака

Для выделения признака изображения в качестве ортогонального преобразования применяется преобразование Уолша-Адамара (WHT). Параметрами для устройства выделения признака являются $N_x = N_y = 8$; включено также обратное преобразование. Таким образом, выделенный коэффициент $R[b]$ выводится следующим образом:

$$R[b] = x_{SSS}^{(b)}(n_0) \quad (I-1)$$

$$x_{SSS}^{(b)}(n) = WHT^{-1} \left[WHT \left\{ x^{(b)}(n) s_{PN}^{(b)}(n) \right\} s_{PN2}^{(b)}(n) \right]. \quad (I-2)$$

I.2 Кодирование коэффициентов

Подробности кодирования коэффициентов рассматриваются ниже. Когда представленная выше схема выделения признаков применяется к входному сигналу 8-бит/пиксель, коэффициент $R[b]$ в конечном счете, имеет длину 15-битов, как это показано на рисунке I.1 (битовая длина теоретически возрастает при $\log_2 \sqrt{N_x N_y}$ для $N_x \times N_y$ преобразования WHT, поскольку коэффициенты преобразования масштабируются с помощью $\sqrt{N_x N_y}$, когда применяется $N_x \times N_y$ преобразование WHT).

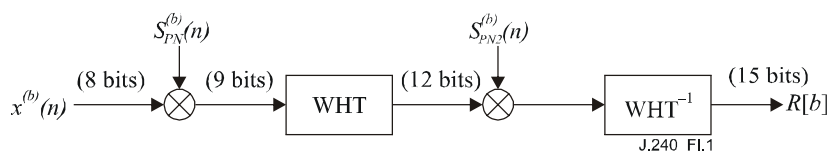


Рисунок I.1/J.240 – Увеличение битовой длины в устройстве выделения признака

При допущении, что формат видеосигнала составляет 720×480 , 30 fps, (кадров в секунду), то необходимая ширина полосы для опорного пути будет $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 15 \times 30 = 2430000$ [бит/с]. Однако такая битовая скорость передачи практически нецелесообразна, поэтому для уменьшения битовой длины $R[b]$ применяется квантование. Например, если $R[b]$ квантуется на 8 битов, то битовая скорость коэффициентов становится $\frac{720 \times 480}{8 \times 8} \times 8 \times 30 = 1296000$ [бит/с], что составляет почти половину значения битовой скорости передачи, чем в том случае, когда применяется 15 битов. Если в дальнейшем потребуется снижение битовой скорости, то можно использовать увеличение размера блока для выделения признака (т. е. N_x и N_y) и пространственное прореживание коэффициентов.

I.3 Вычисление среднеквадратичной оценки MSE

В уравнении I-4 представлено использование некоторой функции, применяющей коэффициенты от двух узлов. Однако при типовом применении оценка MSE выводится с помощью следующего уравнения:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} (D_i[b] - D_j[b])^2 / N_b / scale, \quad (I-3)$$

где N_b и $scale$ обозначают количество блоков в кадре и масштабный коэффициент, который зависит от размера блока для выделения признака и количества битов квантования для коэффициента $R_j[b]$.

I.4 Теоретические обоснования

Ниже в этом пункте приводится рассмотрение теоретической модели оценки отношения PSNR на базе сравнения коэффициентов. Следует отметить, что для простоты в этом пункте не включено обратное ортогональное преобразование.

Пусть $x^{(b)}(n)$ и $x'^{(b)}(n)$ обозначают значение пикселя исходящего и принятого изображений блока b соответственно. В этом случае оценка MSE полукадра в принятом изображении может быть выражена следующим образом:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b), \quad (I-4)$$

где N_b указывает количество блоков в кадре, а N_p – количество пикселей в блоке, соответственно. Далее пусть $s_{PN}^{(b)}(n)$ обозначает PN – последовательность рассматриваемого блока и расширенный спектр $x^{(b)}(n)$ и $x'^{(b)}(n)$. В этом случае оценку MSE – вследствие чего $[S_{PN}^{(b)}(n)]^2 = 1$ – можно записать следующим образом:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{n=0}^{N_p-1} [x^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n) - x'^{(b)}(n) \cdot s_{PN}^{(b)}(n)]^2 / (N_p N_b), \quad (I-5)$$

с помощью уравнения Парсеваля уравнение I-5 может быть модифицировано следующим образом:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b) = \sum_{b=0}^{N_b-1} \sum_{k=0}^{N_p-1} |E_{SS}^{(b)}[k]|^2 / (N_p N_b), \quad (I-6)$$

где $X_{SS}^{(b)}[k]$ и $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$ обозначают расширенный спектр $x^{(b)}(n)$ и $x'^{(b)}(n)$, соответственно, а $E_{SS}^{(b)}[k]$ может быть выражена как $E_{SS}^{(b)}[k] = X_{SS}^{(b)}[k] - X'_{SS}{}^{(b)}[k]$.

Поскольку $X'_{SS}{}^{(b)}[k]$ можно получить из принятого изображения, уравнение I.6 подтверждает, что оценка MSE может быть выполнена посредством вычисления передаваемых частотных составляющих расширенного спектра изображения. Однако при использовании этого метода передачи коэффициентов невозможно выполнить передачу всех частотных составляющих из-за ограничения рассматриваемой полосы звена информационных данных. Поэтому такой метод реализации допускает передачу только одной составляющей на блок. Когда подлежащая передаче частотная составляющая обозначается как k_0 , может быть выражена следующим образом:

$$|E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 = \sum_{k=0}^{N_p-1} |E_{SS}^{(b)}[k]|^2 / N_p + D^{(b)}[k_0]. \quad (I-7)$$

Из этого уравнения мы можем получить $D^{(b)}[k] = 0$, если спектр исходного изображения будет расширяться равномерно. Однако фактическое распределение $|E_{SS}^{(b)}[k]|^2$ имеет некоторый разброс относительно средней мощности в блоке, поскольку частотные составляющие этого расширенного спектра рандомизируются. Поэтому на основании уравнений I-7 и I-6 выводится следующее уравнение:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} \left(|E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 - D^{(b)}[k_0] \right) / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} |E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 / N_b - \sum_{b=0}^{N_b-1} D^{(b)}[k_0] / N_b. \quad (I-8)$$

Далее, исходя из характеристики расширенного спектра, мы допускаем, что разброс $D^{(b)}[k_0]$ сбалансирован между рассматриваемыми блоками этого кадра, т. е. $\sum_b D^{(b)}[k_0] \approx 0$. Затем оценку

MSE можно аппроксимировать следующим образом:

$$MSE \cong \sum_{b=0}^{N_b-1} |E_{SS}^{(b)}[k_0]|^2 / N_b. \quad (I-9)$$

Из уравнения I-9 следует, что оценка MSE может быть выполнена посредством передачи только одной частотной составляющей, использующей характеристики расширенного спектра. И, наконец, с использованием $X_{SS}^{(b)}[k] = A^{(b)}[k]e^{j\theta[k]}$ и $X'_{SS}{}^{(b)}[k] = A'^{(b)}[k]e^{j\theta[k]}$ – при $\theta \approx \theta'$ (фазовая составляющая практически не подвержена влиянию ухудшения передачи), уравнение I-9 можно записать следующим образом:

$$MSE = \sum_{b=0}^{N_b-1} |(A^{(b)}[k_0] - A'^{(b)}[k_0])e^{j\theta[k_0]}|^2 / N_b = \sum_{b=0}^{N_b-1} |A^{(b)}[k_0] - A'^{(b)}[k_0]|^2 / N_b. \quad (I-10)$$

Уравнение I-10 подразумевает, что, в конечном счете, оцененная MSE может быть выражена разностью амплитудных составляющих рассматриваемых коэффициентов. В случае преобразования WHT, не включаются никакие комплексные числа, так что теоретические выкладки существенно упрощаются.

I.5 Качественные характеристики

Шесть битовых последовательностей SDTV были закодированы Группой MPEG-2 TM5 (тестовая модель 5) с четырьмя битовыми скоростями и выполнены измерения отношения PSNR декодированного изображения. В качестве ортогонального преобразования использовано преобразование WHT; использовано также обратное преобразование. Были рассмотрены четыре битовые скорости для базового звена передачи данных. Кроме того, в качестве метода сравнения рассмотрено измерение отношения PSNR без расширенного спектра. Условия эксперимента подробно представлены в таблице I.1.

Таблица I.1/J.240 – Условия эксперимента

Тестовая последовательность	Cheerleaders, Flamingoes, Green Leaves, Marching in, Mobile and Calendar, Soccer Action
Формат видеозаписи	704 × 480, 30 кадров/с, 4:2:2
Кодек	MPEG-2 Тестовая модель 5
Битовая длина переданного коэффициента	10 бит/замер
Битовая скорость кодирования	45, 22,5, 11,25, 5,125 Мбит/с
Размер блока (соответствующий битовой скорости передачи по базовому звену данных)	8 × 8 (1584 кбит/с), 16 × 8 (792 кбит/с), 16 × 16 (396 кбит/с), 32 × 16 (198 кбит/с)

Результаты эксперимента представлены на рисунке I.2 и в таблице I.2. Погрешность оценки отношения PSNR показывает среднюю погрешность оценки 24 последовательностей (6 наименований × 4 битовые скорости). Этот метод при использовании расширенного спектра дает погрешность в оценке почти в 100 раз меньшую, чем метод сравнений. Это свидетельствует о том, что использование расширенного спектра является в высшей степени эффективным при оценке отношения PSNR.

Таблица I.2/J.240 – Результаты эксперимента

Битовая скорость передачи базового тракта [кбит/с]	Погрешность в оценке отношения PSNR	
	С использованием спектра SS	Без использования спектра SS
1584	8.33E-04	5.77E+00
792	1.36E-03	5.64E+00
396	1.91E-03	5.70E+00
198	3.05E-03	5.92E+00
106	1.52E-02	6.90E+00
53	3.14E-02	6.96E+00

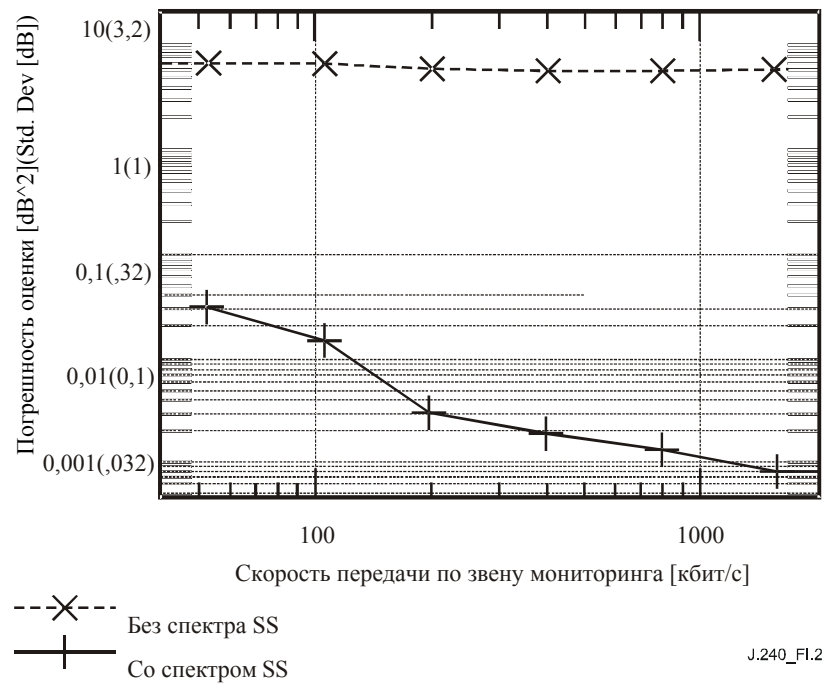


Рисунок I.2/J.240 – Сравнение точности оценок

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола (IP) и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи