

О.В. ЦВЕТКОВ
**ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ:
ЭНТРОПИЙНЫЙ ПОДХОД**

Цветков О.В. Проблемы системной оптимизации цифрового телевизионного вещания: энтропийный подход.

Аннотация. Приводится обоснование энтропийного подхода к оценке потерь информации при кодировании с потерями, а также применение этого подхода для многокритериальной оптимизации цифровых систем телевизионного вещания методом Парето.

Ключевые слова: цифровое телевизионное вещание, энтропия, кодирование информации, многокритериальная оптимизация.

Tsvetkov O.V. Problems of system optimization of digital TV broadcasting: the entropy approach.

Abstract. The entropy approach to the estimation of information losses while coding TV programs is founded. The application of this approach to multicriterial optimization using Pareto methodology is considered.

Keywords: digital broadcasting, entropy, information coding, multi criteria optimization.

1. Введение. Сложность проблемы оптимизации систем цифрового телевизионного вещания (ЦТВ) определяется их особым социально-экономическим статусом, трудностями учета требований большого числа участников процессов их создания, эксплуатации и использования. Стандартные подходы к оптимизации таких систем предполагают назначение отдельным требованиям коэффициентов значимости с последующим сложением в один скалярный критерий. Но так как эти требования выдвигаются различными субъектами (государством, инвесторами, рекламодателями, зрителями), найти разумное консенсусное распределение значимости между ними не представляется возможным. Как следствие возникает необходимость в применении более сложных, системных подходов к оптимизации систем ЦТВ [1].

Одним из источников проблем оптимизации цифровых систем обработки, хранения и передачи видеоданных является ряд фундаментальных отличий цифровых систем от аналоговых. В аналоговых системах телевизионного вещания, в отличие от цифровых, не предусматривается возможность управления скоростью и качеством передачи информации по каналам связи. В цифровых системах возможно за счет некоторой потери качества уменьшить требования по диапазону эфирных частот, пропускной способности линий связи, потребляемой электроэнергии и т.д. Если при этом не задать ограничений по уровню

потерь качества видеоданных, то процедура оптимизации приведет к их недопустимому искажению.

Хорошо известно, что скорость кодирования видеоданных связана с искажениями кривой такого вида, как показано на рис. 1 (Так называемая RD-функция). Так как стоимость передачи в общем случае пропорциональна переданному объему, можно преобразовать эту кривую к виду «стоимость, как функция искажений». На этом графике можно выделить рабочую область, ограниченную сверху предельным приемлемым значением стоимости передачи, справа — предельным приемлемым снижением качества видеоданных. Современное состояние проблемы характеризуется тем, что верхняя граница по стоимости имеет количественное выражение и четко контролируется, а граница по качеству такого количественного выражения не имеет, поэтому контролировать ее затруднительно, в результате чего происходит постепенное возрастание используемых коэффициентов сжатия в пользу экономии отдельных ресурсов.



Рис. 1. Типичный вид скорости (стоимости) передачи, как функции искажений.

В качестве общего подхода к решению данной проблемы предлагается метод Парето-оптимизации [2]. Показано, что различные варианты решений могут быть получены путем задания различных уровней потерь за счет необратимого сжатия и распределения полученного выигрыша между критериальными характеристиками системы, такими как: стоимость системы, энергоёмкость, занимаемая полоса эфирных

частот. Полученное множество вариантов подвергается процедуре мажорирования, результатом оптимизации является множество немажорируемых вариантов построения системы. Основная проблема применения метода Парето для оптимизации систем цифрового телевидения состоит в том, чтобы формализовать величину потерь информации за счет необратимого сжатия и на этой основе корректно задать процедуру построения исходного множества вариантов.

Два других фундаментальных отличия цифровых систем от аналоговых как раз касаются проблемы определения потерь качества видеоданных. Во-первых, в цифровых системах, в отличие от аналоговых, информация в общем случае отделена от носителя, так что заимствованные из аналоговой техники методы измерения параметров искажений носителя (линейных, нелинейных) никак не характеризуют искажение информации как таковой. Во-вторых, аналоговые системы в силу линейности и стационарности корректно тестируются с применением испытательных сигналов. В цифровой системе испытательный сигнал может пройти почти без искажений, а реальные видеоданные в этой же системе будут недопустимо искажаться.

В статье приводится обоснование энтропийного подхода к оценке потерь информации при кодировании с потерями, а также применение этого подхода для многокритериальной оптимизации цифровых систем телевизионного вещания методом Парето.

1. Теоретическая оценка потерь информации в канале цифрового телевизионного вещания. На рис. 3 представлена модель кодека, полученная на основе наиболее общих теоретико-информационных соображений [3]. На рисунке буквой W обозначена пропускная способность канала в каждой точке, буквой n — количество возможных вариантов данных, которые могут быть переданы в единицу времени.

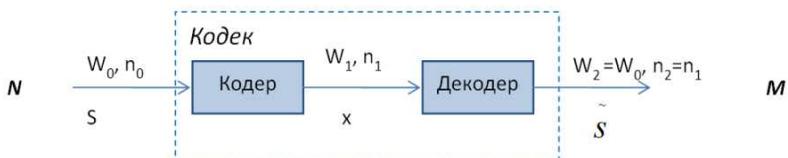


Рис. 2. Обобщенная теоретико-множественная модель кодека

Преобразование сигнала кодеком задается отображением:

$$F : N \rightarrow M, \quad M = F(N).$$

Мощность множества N , очевидно, равна $n_0 = 2^{W_0}$. Максимальная мощность множества компрессированных кодов не превышает пропускной способности канала и поэтому равна $n_1 = 2^{W_1}$. Поскольку по каждому компрессированному коду на выходе реконструируется строго один выходной сигнал, мощность множества M также равна $n_2 = n_1 = 2^{W_1}$.

Поскольку $M \subset N$, F отображает множество N в себя, причем необратимо (рис. 3). Пусть произвольному входному сигналу $S \in N$ на выходе канала ставится в соответствие сигнал $\tilde{S} = F(S), S \in N, \tilde{S} \in M$.

В общем случае ошибка кодирования определяется модулем вектора разности (показаны на рисунке 3 стрелками) между входным и выходным сигналами. Ошибка будет минимальной, если каждому произвольному сигналу из входного множества кодек ставит в соответствие ближайший из множества возможных выходных сигналов (на рис. 3 — сплошные стрелки). Если на вход кодека подается один из сигналов, уже принадлежащий выходному множеству $\tilde{S} \in M$, то ближайшим к нему будет, естественно, он сам. Так что любой из сигналов $\tilde{S} \in M$ должен проходить через кодек без искажений. По этой причине M является инвариантным относительно $F(\cdot)$, то есть $\forall \tilde{S} \in M, F(\tilde{S}) = \tilde{S}$.

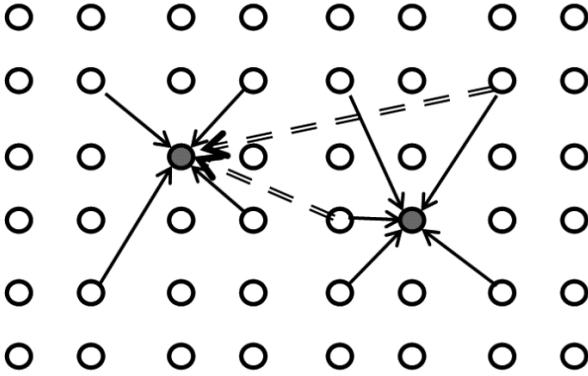
В этом случае все $\tilde{S} \in M$ являются инвариантными относительно $F(\cdot)$ сигналами, или инвариантными сигналами данного кодека.

Для того чтобы определить, чем разрешенные выходные сигналы отличаются от всех остальных, заметим, что каждому выходному сигналу \tilde{S} соответствует некоторая внутренняя для кодека кодовая комбинация x , причем битовый объем x значительно меньше битового объема \tilde{S} . Таким образом, сигнал \tilde{S} может быть описан значительно проще, чем простое перечисление его отсчетов, что по Колмогорову означает, что сложность сигнала \tilde{S} значительно меньше битового объема его представления.

Более формально, сопоставим кодеру некоторый язык описания $E_K = \{x, \tilde{S}\}$, где x — внутренний код кодека, передаваемый по каналу. Сложность сигнала \tilde{S} относительно языка E_K определится бито-

вым объемом x , который, по определению, не превышает пропускной способности канала W_1 .

$$\text{comp}_E(\tilde{S}) = |x| \leq W_1.$$



- Элемент множества входных (выходных) видеоданных $S \in N$
- Инвариантный элемент множества входных (выходных) видеоданных $\tilde{S} \in M, M \subset N$
- Вектор ошибки (оптимальное преобразование)
- == => Вектор ошибки (неоптимальное преобразование)

Рис. 3. Множества входных и выходных сигналов кодека.

Алгоритмическая энтропия сигнала \tilde{S} определяется как его сложность относительно оптимального языка описания, который нам неизвестен, но из его оптимальности следует, что сложность описания в этом языке не превышает сложности его описания в любом другом языке, в том числе и E_K :

$$H_{alg}(\tilde{S}) \leq \text{comp}_E(\tilde{S}).$$

Отсюда следует окончательный вывод о том, что алгоритмическая энтропия сигнала \tilde{S} не превышает пропускной способности канала

$$H_{alg}(\tilde{S}) \leq W_1.$$

Таким образом, суть работы любого кодека сводится к замещению произвольного входного сигнала ближайшим к нему сигналом, имеющим алгоритмическую сложность, не превышающую пропускной способности канала. Исходя из полученной модели, потери информации при кодировании равны разности алгоритмических энтропий входного и выходного сигналов:

$$\Delta H = H_{\text{alg}}(S) - H_{\text{alg}}(\tilde{S}). \quad (1)$$

Для того чтобы потери были минимальны, необходимо, чтобы $H_{\text{alg}}(\tilde{S}) \rightarrow W_1$, в этом случае минимальные потери составят:

$$\Delta H = H_{\text{alg}}(S) - W_1.$$

Таким образом, в этом предельном случае потери определяются алгоритмической сложностью исходного изображения. В общем случае имеется некоторая неоптимальность кодирования: $\Delta H_0 = W_1 - H_{\text{alg}}(\tilde{S})$ и результирующая формула:

$$\Delta H = H_{\text{alg}}(S) + \Delta H_0 - W_1. \quad (2)$$

Формула (1), в частности, объясняет принципиальную некорректность тестирования цифровых телевизионных систем с помощью испытательных сигналов (цветовых полос, испытательных таблиц и т.п.). Испытательные сигналы, применяемые для измерения стандартных параметров, таких как сигнал/шум, коэффициент нелинейных искажений и т.п., имеют очень простую стационарную структуру, то есть обладают низкой собственной энтропией $H_{\text{alg}}(\tilde{S})$. Вследствие этого при их прохождении через кодек мы получим заведомо меньшие искажения ΔH , чем на реальных изображениях.

2. Обобщенное решение задачи многокритериальной оптимизации систем цифрового телевизионного вещания. Задача оптимизации методом Парето сводится к выбору из всего множества решений подмножества решений, недоминируемых (в другой терминологии — немажорируемых) в соответствии с принятыми критериями. Обозначим (использованы обозначения из [2]):

- X — множество возможных решений;
- $\text{Sel}(X)$ — множество выбираемых решений, результат оптимизации;
- $\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ — множество целевых функций, определенных на X . Для удобства дальнейшей формализации необходимо

определить эти функции так, чтобы улучшение значений критериев соответствовало увеличению значений этих функций;

- $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$ — векторный критерий;
- $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f \text{ при некотором } x \in X\}$ — множество возможных оценок;
- $\text{Sel}(Y) = f(\text{Sel} X)$ — множество выбираемых оценок (векторов);
- \succ_x — отношение предпочтения на множестве X , $x_1 \succ_x x_2$ означает, что решение x_1 предпочтительнее решения x_2 , или, что эквивалентно, x_1 доминирует (мажорирует) x_2 . Это отношение определяется следующим образом [2]:

$$x_1 \succ_x x_2, \text{ если } f_i(x_1) \geq f_i(x_2), i = 1 \dots m \text{ и } x_1 \neq x_2.$$

Таким образом, x_1 доминирует x_2 , если он по всем критериям не хуже x_2 и хотя бы по одному критерию лучше.

- $\text{Ndom} X = \{x^* \in X \mid \text{не существует такого } x \in X, \text{ что } x \succ_x x^*\}$ — множество недоминируемых решений.

Основной принцип оптимизации Парето заключается в том, что рациональный выбор решений должен осуществляться из множества недоминируемых решений, то есть:

$$\text{Sel} X \subset \text{Ndom} X.$$

По определению, множество $\text{Sel} X$ включает в себя только не-сравнимые друг с другом по отношению \succ_x решения. Дальнейшее сужение множества решений производится на основе других отношений, учитывающих количество критериев, по которому одно решение предпочтительнее другого, а также относительную важность критериев.

Применяя этот подход к решению поставленной задачи, получаем, что X — множество возможных решений — включает:

$$X = \left\{ \left(\vec{V}_{\text{in}}, \vec{V}_{\text{out}}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{\text{up}}, \vec{B}_{\text{dn}}, \vec{B}_{\text{mid}} \right) \right\},$$

где \vec{V}_{in} — вектор скоростей видеоданных во внутренних каналах системы;

\vec{V}_{out} — вектор скоростей видеоданных во внешних (разделяемых) каналах передачи;

E_K — эффективность выбранного метода кодирования в беспроводных каналах передачи (бит/с/Гц);

h, w — пространственное разрешение изображения, пикс.;

n — количество кадров в секунду;

$\vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid}$ — вектор верхних, нижних границ и средних значений битрейтов для потоков видеоданных.

Векторный критерий:

$$f = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5),$$

где $f_1 = -C_0(\vec{V}_{in}, \vec{V}_{out}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid})$, C_0 — стоимость создания системы;

$f_2 = -C_1(\vec{V}_{in}, \vec{V}_{out}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid})$, C_1 — стоимость эксплуатации системы;

$f_3 = -W_F(\vec{V}_{in}, \vec{V}_{out}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid})$, W_F — суммарная ширина занимаемых полос радиочастот;

$f_4 = -P(\vec{V}_{in}, \vec{V}_{out}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid})$, P — энергопотребление системы;

$f_5 = Q(\vec{V}_{in}, \vec{V}_{out}, E_K, h, w, n, \vec{B}_{up}, \vec{B}_{dn}, \vec{B}_{mid})$, Q — качество предоставляемых видеоданных.

Некоторые величины в формулировках критериев взяты с обратным знаком для того, чтобы улучшение значений критериев соответствовало увеличению значений этих функций.

Все величины, входящие в вышеприведенные формулы, определены однозначно и могут быть легко интерпретированы. Сложность представляет лишь параметр качества Q . Исходя из результатов, полученных в п.1, определим его на основе алгоритмической энтропии (1):

$$Q = -\Delta H = W_1 - H_{alg}(S).$$

Величина ΔH характеризует потери качества, поэтому она взята с обратным знаком.

Известно, что параметры P, W, C_0, C_1 связаны между собой таким образом, что возможно осуществлять некоторый «размен» одних на другие в том смысле, что, например, увеличение стоимости системы позволяет до некоторой степени понизить энергопотребление, сум-

марную ширину занимаемых полос радиочастот и стоимость эксплуатации. Таким образом, снижение параметра качества ΔQ может быть некоторым образом «распределено» между P, W, C_0, C_1 , приводя к их улучшению. С учетом этого, получаем следующую типовую процедуру Парето–оптимизации цифровой системы телевизионного вещания.

1. Для генерации множества вариантов сначала задаются верхней и нижней границами параметра качества Q : Q_{\max} и Q_{\min} . Затем делят интервал $[Q_{\max}, Q_{\min}]$ на равные отрезки и получают промежуточные значения параметра качества Q_i , а также промежуточные значения параметра потерь $\Delta_i = Q_{\max} - Q_i$.

2. Производят расчет параметров системы P, W, C_0, C_1 , обеспечивающих на выходе системы уровень качества Q_{\max} .

3. Рассчитывают промежуточные варианты системы для каждого уровня качества Q_i путем размена соответствующей потери качества Δ_i на улучшение системы по параметрам P, W, C_0, C_1 . «Распределение» Δ_i между P, W, C_0, C_1 производится с весовыми коэффициентами, определяющими относительную значимость каждого из параметров.

4. Шаг 3 повторяют для разных наборов коэффициентов значимости.

5. По всему полученному набору сочетаний Q, P, W, C_0, C_1 проводят процедуру Парето–оптимизации, оставляя на выходе немajorируемые варианты проектов системы.

6. Из множества Парето–оптимальных вариантов лицом, принимающим решение, отбирается рабочий вариант проекта системы.

Как следует из формулы (1), потери информации при кодировании прямо связаны с «нагрузкой» на систему, определяемой алгоритмической энтропией входного видеопотока. Поскольку эта нагрузка имеет переменный характер, для систем цифрового телевизионного вещания большое значение имеет динамическая оптимизация (рис. 4).

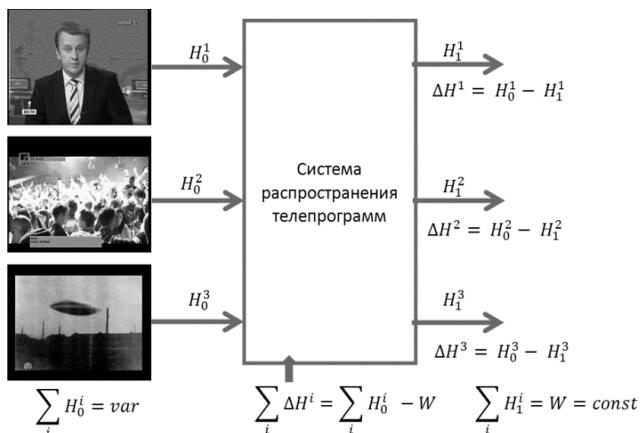


Рис. 4. Динамическая оптимизация по принципу информационного баланса.

Видеоданные, поступающие на вход системы, сильно различаются по исходному качеству, динамичности, детализации фона и другим характеристикам. Система обладает фиксированной пропускной способностью W , которую необходимо рационально распределить между этими каналами. В терминах энтропии данная задача находит естественное решение, каждый канал характеризуется начальной и конечной энтропиями, сумма конечных энтропий в идеальном случае равна пропускной способности системы, каждый канал характеризуется потерями ΔH , суммарные потери определены приведенной формулой. Эти потери можно распределить между каналами, например, равномерно, тогда автоматически канал с большей исходной энтропией получит большую долю выходного битрейта. В общем случае, решение задачи формулируется как поиск и удержание состояния баланса информационных потерь между каналами. Таким методом в применении к данной системе реализуется общесистемный принцип информационного равновесия.

3. Концепция энтропийных измерений и ее применение для оптимизации систем цифрового телевизионного вещания. Для реализации предложенного подхода к оптимизации цифровых систем телевизионного вещания необходимо оценивать потери информации при кодировании, которые равны разности алгоритмических энтропий входного и выходного сигналов. Однако если для выходного сигнала мы имеем, по крайней мере, оценку алгоритмической энтропии сверху,

то для входных сигналов такой оценки у нас нет, и методы ее получения на практике не разработаны. Для преодоления этих трудностей предлагается в качестве оценки уменьшения алгоритмической энтропии видеоданных использовать уменьшение других видов энтропии.

Для решения этой задачи необходимо сделать два шага: выделить содержащуюся в изображении информацию в удобной для анализа форме и оценить ее количество. Общее решение задачи отделения информации от носителя предложено Шенноном [4]. Его идея заключается в том, что любое обратимое отображение данного объекта несет ту же информацию, что и сам объект, поэтому информация есть инвариант всех обратимых преобразований носителя. Более формально, если x и y связаны взаимно-однозначным отображением G , то вся информация об x есть в y и наоборот, то есть оба объекта несут одну и ту же информацию I :

$$y = G(x), x = G^{-1}(y) \leftrightarrow I(x) = I(y).$$

На этом основании определим информацию, содержащуюся в произвольном объекте x , как множество всех свойств $A(x)$, сохраняющихся при произвольных обратимых преобразованиях G :

$$I(x) = \left\{ A : \forall y | x = G^{-1}(y) A(x) = A(y) \right\}, \text{ где } G \text{ пробегает все множе}$$

ство взаимно-однозначных преобразований вида $y = G(x)$.

Данная идея может быть использована с тем уточнением, что на практике удастся получить инварианты только для определенных классов обратимых преобразований. Таким образом, в основе данного подхода к измерению энтропии пространственно-временного распределения физической величины лежат два шага:

- инвариантное в некотором смысле кодирование пространственно-временного распределения целевой величины;
- вычисление энтропии полученного кода.

Для осуществления второго шага необходимо, чтобы инвариантное кодирование осуществлялось в форме математического объекта, для которого определена энтропия. На практике чаще всего используются два таких объекта — символьная последовательность и разбиение пространства с мерой.

Энтропия символьной последовательности вычисляется по стандартной формуле:

$$h = - \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{K_n} p_i \log p_i,$$

где K_n — количество различных подпоследовательностей длины n в исходной последовательности символов, p_i — вероятность появления подпоследовательности с номером i в исходной последовательности.

При расчетах энтропии по этой формуле вычисление предела обычно заменяют вычислением функции:

$$\Delta H = H(d) - H(d-1),$$

$$H(n) = - \sum_{i=1}^{K_n} p_i \log p_i,$$

где d — параметр алгоритма, выбираемый таким образом, чтобы выполнять оценку энтропии на линейном участке зависимости $H(n)$, ΔH — искомая оценка энтропии.

Энтропия разбиения $\alpha = \{A_i\}$, где $A_i \in M$; $\cup A_i = M$, пространства M с мерой μ задается формулой:

$$H(\alpha) = -k \sum_i \mu(A_i) \log \mu(A_i).$$

Можно предложить различные способы кодирования видеоданных символьной последовательностью и семействами разбиений. Для проведения экспериментов, результаты которых приведены ниже, символьная последовательность получалась методом рангового ядра [5,6], а семейство разбиений — методом адаптивно-динамической сегментации [7,8]. Оба этих метода кодирования обеспечивают инвариантность к непрерывным взаимно-однозначным преобразованиям исходного изображения. Результаты экспериментов показаны на рис. 5, 6 и 7. На рис. 5 вход — это телевизионная программа, записанная в аппаратной Государственного предприятия «Космическая связь» (ГПКС) (г. Москва), выход — та же телевизионная программа, принятая в Санкт-Петербурге. Значения энтропии усреднялись по отдельным сюжетам. Графики показывают, что величина потерь различна для различных сюжетов.

На рис. 6 наземное вещание — это тестовое вещание в формате DVB-T (эксперимент проводился до принятия решения о переходе на вещание в формате DVB-T2). Графики показывают существенный проигрыш наземного цифрового вещания по сравнению с действующими системами непосредственного спутникового вещания (этот про-

игрыш отмечался и экспертами по субъективным оценкам качества изображения).



Рис. 5. Изменение энтропии рангового ядра в системе цифрового телевизионного вещания.

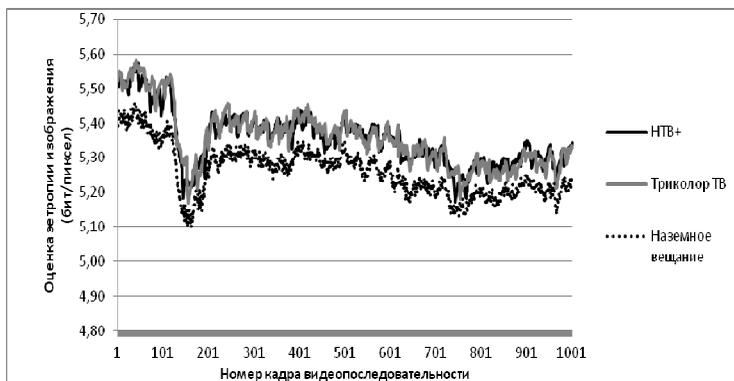


Рис. 6. Сопоставление энтропии рангового ядра одной и той же телевизионной программы, принятой по трем разным каналам.

На рис. 7 по оси абсцисс отложен номер шага сегментации, по оси ординат — энтропия разбиения (бит). Видно, что после сжатия кодеком xvid энтропия снижается.

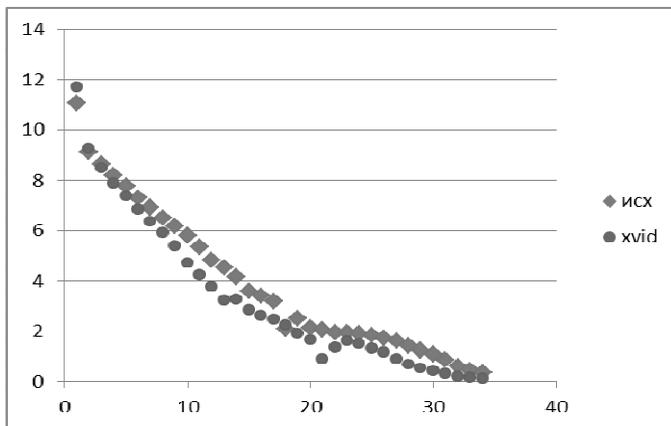


Рис. 7. Сопоставление энтропии разбиений изображения, получаемых при его адаптивно-динамической сегментации.

Несмотря на приведенные здесь положительные результаты экспериментов, вопрос о корректности замены алгоритмической энтропии, входящей в формулу (1), оценками энтропии рангового ядра или семейства разбиений, требует дальнейшего изучения. Возможно, для корректной оценки потерь информации наилучшим решением будет получение множества оценок различными методами с последующим их комплексированием. Это является предметом дальнейших исследований.

4. Заключение. Для российского телевидения первоочередной проблемой является обеспечение доступа населения к минимально достаточному пакету программ. Эту проблему предполагается решить в процессе перехода на цифровое наземное телевизионное вещание. Следует отметить, что в программных документах имеется существенное отличие между целевыми критериями, применяемыми к телевидению и радиовещанию. В области радиовещания поставлена задача «обеспечения повсеместного государственного радиовещания заданного качества, то есть качества, эквивалентного или превосходящего качество стереофонического звучания CD-аудиозаписи» [9]. В то же время, в области телевидения ставится лишь задача «обеспечения гарантированного распространения обязательных телерадиоканалов во всех населенных пунктах Российской Федерации» (там же). В [10] эта задача сформулирована как «расширение зоны уверенного приема российских телерадиопрограмм». Показатели эффективности хода ре-

ализации Программы развития телерадиовещания определяются на основе расчета доли населения России, имеющей возможности приема обязательных и дополнительных телеканалов. Таким образом, ни в одном из программных документов по развитию цифрового телевизионного вещания в России ничего не сказано о качестве предоставляемых населению телевизионных программ. На наш взгляд, этот факт подтверждает предположение о доминировании финансово-экономических и технологических факторов в процессе принятия ключевых решений по развитию отечественной информационной инфраструктуры, в полном соответствии с полученными в статье теоретическими выводами.

В отличие от России, в странах с развитой информационной инфраструктурой одним из основных направлений приложения усилий в области телевещания является повышение качества предоставляемых телевизионных программ путем перехода к перспективным форматам сверхвысокого разрешения как по пространству так и по времени [11]. Помимо ставшего уже общедоступным формата телевидения высокой четкости HD, прорабатывается возможность перехода на следующий формат HD-2, с числом элементов в кадре, в 4 раза превышающим HD, кроме того, рассматриваются вопросы перехода от 50Гц к 100Гц и даже 300Гц [11].

Выход из этого противоречия видится в первую очередь, в изменении концептуальных основ развития отечественной информационной инфраструктуры со смещением приоритетов в пользу создания единой инфокоммуникационной среды, основанной на программируемых протоколах и технологиях [12], что обеспечит максимально эффективное использование имеющихся в нашем распоряжении ресурсов.

Литература

1. *Александров В.В.* Развивающиеся системы. В науке, технике, обществе и культуре. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. 244 с.
2. *Нозин В.Д.* Обобщенный принцип Эджворта–Парето и границы его применимости //Экономика и математические методы. 2005. т.41. №3. С.128–134
3. *Цветков О.В.* Элементы теории объективных испытаний цифровых кодеков для телевизионного вещания //Информационно-измерительные и управляющие системы, Т. 6. 2008. №4. С. 58–62.
4. *Шеннон К.* Некоторые задачи теории информации //Работы по теории информации и кибернетике. М.: ИИЛ, 1963.
5. *Цветков О.В.* Вычисление оценки энтропии биосигнала, инвариантной к изменению его амплитуды, с использованием рангового ядра //Радиоэлектроника (Известия ВУЗ). 1991. №8. С. 108–110.

6. *Цветков О.В.* Оценка близости числовых последовательностей на основе сопоставления их ранговых ядер //Радиоэлектроника (Известия ВУЗ). 1992. №8. С. 28–33.
7. *Levachkine S., Velazques A., Alexandrov V., Kharinov M.* Semantic Analysis and Recognition of Raster-Scanned Color Cartographic Images // LNCS Graphics Recognition, V. 2390 (2002). P. 171–182.
8. *Цветков О.В., Зайцева А.А.* О потенциальной информационной достаточности выявления семантики контента // Всероссийская конференция «Математические методы распознавания образов», ММРО-15, Петрозаводск, 2011 г.
9. Концепция федеральной целевой программы "Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009–2015 годы, Распоряжение Правительства РФ, 21 сентября 2009 г. №1349-р
10. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации. Пр-212, 7.02.2008 г.
11. *Умбиталиев А.А.* Перспективы развития цифрового телерадиовещания: комплексное решение внедрения цифрового телевидения в регионах //Вопросы радиоэлектроники: Техника телевидения. — 2008. Вып. 2. С. 3–8. (101)
12. *Александров В.В., Кулешов С.В., Цветков О.В.* Цифровая технология инфокоммуникации. Передача, хранение и семантический анализ текста, звука, видео. СПб: Наука, 2008.

Цветков Олег Викторович — докт. техн. наук, заместитель генерального директора ФГУП ГосНИИПП по научной работе. Область научных интересов: теория информации, инфокоммуникационные системы, оптимизация цифровых телевизионных систем. Число научных публикаций — более 30. ovt@bk.ru.; ФГУП «ГосНИИПП», наб. Обводного канала, д. 29 Санкт-Петербург, 191167, РФ; p.t. +7(812)717-0934, факс +7(812) 717-0931.

Tsvetkov Oleg Victorovich — Doctor in Tech. Sc., GosNIIPP. Research interest: information theory, infocommunication systems, digital TV systems optimization. The number of publication — more than 30. ovt@bk.ru; GosNIIPP, Obvodni Ch. Emb., 29, St. Petersburg, 191167, Russia; office phone +7(812) 717-0934, fax +7(812) 717-0931.

Рекомендовано лабораторией автоматизации научных исследований СПИИРАН.
Статья поступила в редакцию 10.03.2013

РЕФЕРАТ

Цветков О.В. Проблемы системной оптимизации цифрового телевизионного вещания: энтропийный подход.

Сложность проблемы оптимизации систем цифрового телевизионного вещания (ЦТВ) определяется их особым социально-экономическим статусом, трудностями учета требований большого числа участников процессов их создания, эксплуатации и использования.

Стандартные подходы к оптимизации таких систем предполагают назначение отдельным требованиям коэффициентов значимости с последующим сложением в один скалярный критерий.

Одним из источников проблем оптимизации цифровых систем обработки, хранения и передачи видеоданных является ряд фундаментальных отличий цифровых систем от аналоговых.

Первое важное для нас отличие заключается в том, что если в аналоговых системах любые искажения являлись непреднамеренными и их стремились минимизировать, то в цифровых системах искажения вносятся преднамеренно, для того чтобы за счет этого сэкономить ресурсы телекоммуникационной инфраструктуры. В частности, возможно за счет некоторой потери качества уменьшить требования по диапазону эфирных частот, пропускной способности линий связи, потребляемой электроэнергии.

Два других фундаментальных отличия цифровых систем от аналоговых как раз касаются проблемы определения потерь качества видеоданных. Во-первых, в цифровых системах, в отличие от аналоговых, информация в общем случае отделена от носителя, так что заимствованные из аналоговой техники методы измерения параметров искажений носителя (линейных, нелинейных) никак не характеризуют искажение информации как таковой. Во-вторых, аналоговые системы в силу линейности и стационарности корректно тестируются с применением испытательных сигналов. В цифровой системе испытательный сигнал может пройти почти без искажений, а реальные видеоданные в этой же системе будут недопустимо искажаться.

В статье приводится обоснование энтропийного подхода к оценке потерь информации при кодировании с потерями, а также применение этого подхода для многокритериальной оптимизации цифровых систем телевизионного вещания методом Парето.

Для реализации предлагаемого в статье подхода к оптимизации цифровых систем телевизионного вещания необходимо оценивать потери информации при кодировании, которые равны разности алгоритмических энтропий входного и выходного сигналов.

Возможно, для корректной оценки потерь информации наилучшим решением будет получение множества оценок различными методами с последующим их комплексированием.

SUMMARY

Tsvetkov O.V. **Problems of system optimization of digital TV broadcasting: the entropy approach.**

The complexity of the digital television systems optimization problem is caused by their special social and economy status which doesn't allow to account requirements of large number of their developers and users.

The standard approaches to optimization of such systems are supposing assignment of the value coefficients to requirements with following summation to one scalar criterion.

One of the problem sources for digital video data processing and transmitting systems optimization lies in fundamental differences between digital and analog systems. The first important difference is in the fact that for analog systems all distortions are normally caused by unintentional reasons and are the negative factor and for digital systems the distortions are caused intentionally usually for savings in telecommunication infrastructures. In particular, due to reduced visual quality the requirements for frequency range, communication lines bandwidth, energy consumption are simplified.

Two other fundamental differences of digital and analog systems are addressing problems of video quality degradation. Firstly, in digital systems information is in general separated from media and thus the methods for analog systems accounting for media distortion (linear and non-linear) are not capable to estimate information losses. Secondly, analog systems due to linearity and stationarity are successfully being testing by special test signals. In digital systems test signal can pass without significant distortion but real video data could be unacceptably distorted.

The paper proposes justification for application of entropy approach to estimate information losses caused by lossy coding and for application in multi criteria optimization of digital television systems by Pareto method. To implement proposed approach to digital television systems optimization it is necessary to estimate information losses caused by coding which are equal to difference between algorithmic entropy of input and output signals. The possibly best solution for the correct losses estimation is to obtain multiple estimations by different methods with subsequent complexation.