

Таким чином, надійність МТС можна представити в такому вигляді:

$$P = f[\lambda_i(t), \mu_i(t), R_j(t), F_k], \quad (7)$$

де $\lambda_i(t)$ – функція інтенсивності потоку відмов фрагмента мережі, який впливає на i -й елемент; $\mu_i(t)$ – інтенсивність потоку відмов фрагмента мережі, який впливає на i -й елемент; $R_j(t)$ – топологія досліджуваного фрагмента ($j=1\dots 3$, де $j=1$ відповідає трикутному фрагменту, $j=2$ – деревовидному фрагменту, $j=3$ – кільцевому фрагменту); F_k – тип використаного алгоритму, де $k=1\dots 3$, причому $k=1$ відповідає алгоритму функціонування вузлів тактової синхронізації на основі таблиць пріоритетів, $k=2$ відповідає алгоритму функціонування вузлів тактової синхронізації на основі повідомлень про статус синхронізації, $k=3$ відповідає алгоритму функціонування вузлів синхронізації з можливістю формування динамічної зміни дерева синхронізації і внесенням програмованої затримки.

Висновки. Узагальнена методика визначення надійності функціонування для фрагмента МТС будь-якої топології дозволяє: *визначити* можливість використання даних фрагментів як основних для побудови дерева синхронізації, що динамічно адаптується; *визначити* значення параметрів, на основі яких можливий вибір оптимальної топології; *визначити* варіанти використання перспективних топологічних структур. Узагальнений функціонал надійності МТС визначає залежність надійності мережі тактової синхронізації від функціональних залежностей між інтенсивностями потоків відмов і відновлень, топології мережі, ефективності планування, алгоритмів функціонування мережних елементів.

Література

1. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А.Овчаров. – М.: Наука, 1991. – 384 С.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
3. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи / Б.П. Филин. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.

УДК 004.932

Загребнюк В.И. к.т.н. (Одесская национальная академия связи им. О.С. Попова)

АДАПТИВНОЕ КОДИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ СО СВЕРХШИРОКИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ В cBX2X3.

Загребнюк В.И. Адаптивне кодування зображень з надшироким динамічним діапазоном у cBX2X3. Запропоновано метод адаптивного кодування зображень з надшироким динамічним діапазоном, що мають глибину кольору 30 біт. Показано, що у запропонованому підході довжину рівномірного адаптивного коду хроматичних компонент, який завжди менший 10 біт, можна обирати в залежності від якості візуального сприйняття змінюючи коефіцієнт стискуючого перетворення.

Ключові слова: КОДУВАННЯ, ПЕРЕТВОРЕННЯ cBX2X3, АДАПТИВНИЙ КОД

Загребнюк В.И. Адаптивное кодирование изображений со сверхшироким динамическим диапазоном в cBX2X3. Предложен метод адаптивного кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном и глубиной цвета 30 бит. Показано, в предложенном подходе длину адаптивного равномерного кода хроматических компонент, который всегда меньше 10 бит, можно выбирать в зависимости от качества визуального восприятия, изменяя коэффициент сжимающего преобразования.

Ключевые слова: КОДИРОВАНИЕ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ cBX2X3, АДАПТИВНИЙ КОД

Zahrebniuk V.I. Adaptive high dynamic range image encoding using cBX2X3 transform. The method of high dynamic range image (colordepth states 30 bits) encoding by adaptive uniform code is proposed. It is shown the length of chromatic components adaptive uniform code can be specified depending on perception quality by change of coefficients of transform. The length of chromatic components adaptive uniform code is always less then 10 bits.

Keywords: ENCODING, cBX2X3 TRANSFORM, ADAPTIVE CODE

Введение. Цифровые изображения со сверхшироким динамическим диапазоном или высококонтрастные цифровые изображения все чаще используются в интерактивных видеоприложениях для обеспечения близкого к перцептивно-прозрачному восприятию на выходе воспроизводящих устройств [1]. Под перцептивно-прозрачной системой воспроизведения, как правило, понимают такую систему, на выходе которой восприятие изображения сопровождается такими же визуальными ощущениями, как и при просмотре реальной сцены в месте съемки [2]. Изображения со сверхшироким динамическим диапазоном чаще всего формируются следующим образом: регистрируется несколько цифровых изображений одной и той же сцены с различными значениями экспозиции. Для формирования высококонтрастного изображения, изображения, полученные при разных экспозициях, объединяют путем вычисления значений освещенности объектов сцены [3, 4]. Для визуализации изображения необходимо выполнить его преобразование в изображение с низким динамическим диапазоном с использованием полутоновых операторов [1...4].

Для широкого использования высококонтрастных изображений в различных предметных областях необходимо решить ряд актуальных проблем. В общем случае они относятся к разработке новых аппаратных платформ и методов кодирования, как статических изображений, так и видеопоследовательностей.

Для хранения изображений со сверхшироким динамическим диапазоном используются различные графические форматы, например, LogLuv 32, RGBE, OpenEXR, scRGB, Pixar's log TIFF, LogLuv TIFF, JPEG-HDR и другие. В наиболее распространенных форматах, таких как, например, RGBE и LogLuv TIFF, компоненты цветности кодируются вещественными числами с плавающей точкой с различным количеством значащих цифр в мантиссе. Вследствие этого файл, содержащий закодированные вещественными числами изображение со сверхшироким динамическим диапазоном, в зависимости от длины кода, может занимать объем в несколько раз, а в некоторых случаях - в десятки раз, превосходящий размеры файла bmp.

С другой стороны, вещественная арифметика требует больших вычислительных ресурсов на обработку и преобразование таких изображений для их визуализации по сравнению с тем, если бы компоненты цветности описывались бы целочисленными значениями. Кроме того, существующие стандарты кодирования и сжатия изображений, такие как JPEG и MPEG и не могут непосредственно использоваться для изображений со сверхшироким динамическим диапазоном, так как они ориентированы на целочисленную арифметику [5]. В качестве решения этих проблем разрабатываются методы и алгоритмы минимизирующие требования к вычислительным ресурсам [6], либо перекодирование изображений в такую форму, чтобы можно было использовать для их хранения и передачи общепринятые форматы и стандарты [5, 7]. Реализация такого подхода сопровождается значительным снижением качества визуального восприятия изображений. Поэтому задача кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном, не смотря на значительное количество работ, по-прежнему остается актуальной. Исходя из этого цель данной работы – это разработка метода целочисленного кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном адаптивным равномерным кодом с использованием их целочисленного описания.

Метод кодирования адаптивными равномерными кодами. Сжимающее преобразование sVX2X3 [8] не имеет ограничений на глубину цвета и, следовательно, может быть использовано для кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном. В общем случае, для любого трехкомпонентного цветового пространства $Y = (y_1, y_2, y_3)$, преобразование из Y в sVX2X3 имеет вид [8]:

$$B = \lambda_1 C_1 + \lambda_2 C_2 + \lambda_3 C_3; \quad (1) \quad X2 = \frac{1}{k_z} (B - C_2); \quad (2) \quad X3 = \frac{1}{k_z} (B - C_3). \quad (3)$$

Здесь B – ахроматическая компонента; λ_i ($\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$) – нормированные собственные значения ковариационной матрицы компонент цветовой системы Y ,

упорядоченные в порядке убывания; C_i – компоненты y_i упорядоченные соответственно их собственными числами; $X2$ и $X3$ – хроматические компоненты; $k_z \geq 2$ – коэффициент сжимающего преобразования.

Пусть $c_i \in [0, c_{\max}]$, тогда хроматические компоненты $X2$, $X3$ будут принимать значения из диапазонов

$$X2 \in \left[-\frac{c_{\max}}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_3), \frac{c_{\max}}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_3) \right]; \quad X3 \in \left[-\frac{c_{\max}}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_2), \frac{c_{\max}}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_2) \right].$$

Для определенности положим, что для кодирования изображений используется цветовое пространство с глубиной цвета 30 бит на пиксел (bpp), а $C_i \in [0, 1024]$.

Тогда получим, что

$$X2 \in \left[-\frac{1024}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_3), \frac{1024}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_3) \right]; \quad X3 \in \left[-\frac{1024}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_2), \frac{1024}{k_z}(\lambda_1 + \lambda_2) \right].$$

Отсюда, диапазон хроматических компонент будет уменьшаться в зависимости от λ_i и k_z и, следовательно, для их кодирования можно использовать коды длиной менее 10 бит.

Для того чтобы исследовать особенности адаптивного кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном в $sVX2X3$, изображения с низким динамическим диапазоном преобразовывались в изображения со сверхшироким динамическим диапазоном с использованием стандартного преобразования

$$C_i = \left\lceil \frac{1024 \cdot C_{i,LDR}}{255} \right\rceil.$$

Здесь $\lceil \bullet \rceil$ – квантование полученных значений так чтобы, значения C_i были целочисленными. Для исследования, в качестве тестовых, использовались изображения в формате bmp с глубиной цвета 24 bpp с Берклиевской базы изображений [9]. В результате выполнения этого преобразования количество цветов в преобразованном изображении увеличивалось примерно в десять раз, что является характерным признаком изображений со сверхшироким динамическим диапазоном. В ходе исследований анализировались диапазоны хроматических компонент в зависимости от k_z . Поскольку максимальные и минимальные значения хроматических компонент при $k_z = 2$ и $k_z = 3$ по абсолютной величине больше чем 255, в ходе выполнения преобразования (1)...(3), в качестве предварительного этапа кодирования, формировалась палитры значений хроматических компонент P_{X2} и P_{X3} . Для этого подсчитывалось количество различных значений каждой хроматической компоненты: N_{X2} , N_{X3} и абсолютные частоты каждого значения: $n_{X2,i}$ $i \in [0, N_{X2} - 1]$ и $n_{X3,j}$ $j \in [0, N_{X3} - 1]$. Затем значения палитры упорядочиваются, в порядке убывания частот, так что $P_{X2} = \{(X2_i, n_{X2,i}), i \in [0, N_{X2} - 1]\}$ и $P_{X3} = \{(X3_i, n_{X3,i}), i \in [0, N_{X3} - 1]\}$. Исходя из этого значения хроматических компонент будем кодировать, используя индексы палитр $i \in [0, N_{X2} - 1]$ и $j \in [0, N_{X3} - 1]$.

Что касается ахроматической компоненты, то длина ее кода в подавляющем большинстве случаев будет равна 10 битам.

Следует подчеркнуть, что использование палитры хроматических компонент не накладывает ограничений на способ описания изображений со сверхшироким динамическим диапазоном, т.е. оно может быть как целочисленным, так и с плавающей десятичной точкой, поскольку, в конечном итоге, для кодирования используются целочисленные индексы палитры.

На рис. 1 приведены диаграммы максимальных по всем тестовым изображениям размеров палитры в зависимости от k_z .

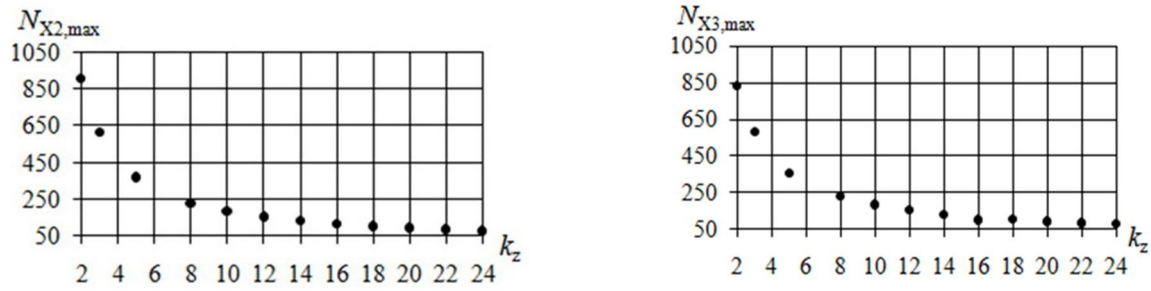


Рис. 1. Максимальные размеры палитры

Как следует из приведенного рисунка, для $k_z \leq 8$ размеры палитр хроматических компонент меньше 250.

Если длину адаптивного кода определять исходя из размеров палитры по формуле $d_X = \lceil \log_2(N_X) \rceil$ ($\lceil \bullet \rceil$ – округление до ближайшего целого сверху), то длина адаптивного кода будет меньше 10 бит на хроматическую компоненту.

На рис. 2 приведены гистограммы частот m_d длин кодов для хроматических компонент.

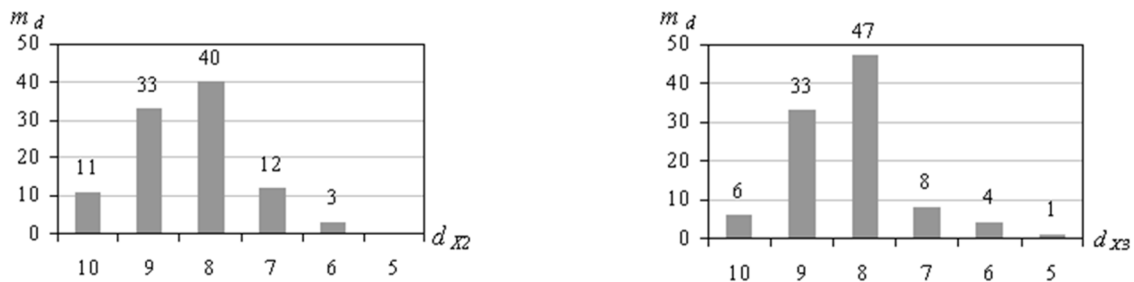


Рис. 2. Частоты длин кодов хроматических компонент при $k_z = 2$.

Как следует из приведенного рисунка уже при $k_z = 2$ примерно 70% изображений для компоненты X2 и около 80% для компоненты X3 имеют длину адаптивного кода 8, 9 бит. При увеличении k_z максимальное значение длины адаптивного кода (рис 3) уменьшается, уменьшается также модальное значение d_X .

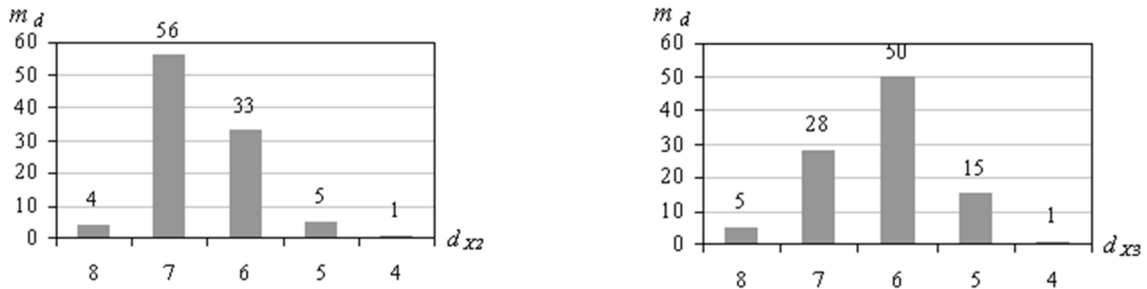


Рис. 3. Гистограмма длин адаптивных кодов при $k_z = 10$

При $k_z = 10$ практически для всех изображений длина адаптивного кода хроматических компонент $d_X \leq 7$. Для получения зависимости длинны адаптивного равномерного кода от k_z анализировались модальные значения d_X при различных значениях $k_z \in [2, 24]$. Эта зависимость аппроксимируется соотношением

$$d_X(k_z) = 0,006k_z^2 - 0,292k_z + 8,751. \quad (4)$$

Для формальной оценки качества визуального восприятия использовалось пиковое отношение сигнал-шум – PSNR. Значения PSNR вычислялись для каждой компоненты пространства RGB и усреднялись по всем тестовым изображениям. Для получения зависимости PSNR от k_z использовалось $PSNR_{\min} = \min(PSNR_R, PSNR_G, PSNR_B)$. Эта зависимость была получена методом наименьших квадратов и имеет вид

$$PSNR_{\min}(k_z) = -0,636k_z + 59,51. \quad (5)$$

Как следует из приведенного соотношения, значения PSNR линейно убывают с увеличением k_z . Используя формулы (4, 5) можно подобрать такую длину адаптивного равномерного кода, которая удовлетворяет необходимому качеству визуального восприятия. Еще одно важное предложение метода кодирования заключается в уменьшении размеров файла, в котором хранится изображение. Пусть $N_f = w \cdot h$ – это размер (количество пикселей) изображения, тогда уменьшение объема файла ΔV_f , за счет использования адаптивных равномерных кодов, будет определяться по формуле

$$\Delta V_f = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (10 - d_{x2}) + \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h (10 - d_{x3}) \text{ бит.}$$

Выводы. Предложен метод кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном адаптивными равномерными кодами, длина которых зависит от коэффициента сжимающего преобразования. Использование сжимающего преобразования сVX2X3 позволяет применять целочисленное описание для кодирования изображений со сверхшироким динамическим диапазоном. Полученные соотношения позволяют определить длину равномерного адаптивного кода для заданного качества визуального восприятия. Использование адаптивных равномерных кодов позволяет сократить размер файлов изображений со сверхшироким динамическим диапазоном.

Предметом дальнейших исследований является разработка графического формата для хранения изображений со сверхшироким динамическим диапазоном закодированных адаптивными равномерными кодами.

Литература

1. Xi L.W. Rendering from Compressed High Dynamic Range Textures on Programmable Graphics Hardware / L.W. Xi, W. P.-P. Sloan, L.-Y. Wei, X. Tong, B. Guo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ppsloan.org/publications/HDRComp.pdf> (2.02.2013).
2. Тепухина А.В. Алгоритмы обработки изображений со сверхшироким динамическим диапазоном и возможности применения их в видеоприложениях / А.В. Тепухина // Цифрові технології. – 2007. – №2. – С. 36-40
3. Jacobs A. High Dynamic Range Imaging and its Application in building Research / A. Jacobs // Advances in Building Energy Research. – 2007. – Т.1. – P. 177-202.
4. Johnson T. Exploring High Dynamic Range Imaging / T. Johnson, S. McGee, R. Ortman, T. Yang // HDR image creation. –Т. 3. – 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cnx.org> (2.02.2013).
5. Chen M. JPEG Compatible Coding of High Dynamic Range Imagery using Tone Mapping Operators / M. Chen, G. Qiu, Z. Chen, C. Wang [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ima.ac.uk/papers/chen2006.pdf> (8.01.2013).
6. Ström J. Floating-Point Buffer Compression in a Unified Codec Architecture / J. Ström, P. Wennersten, J. Rasmusson, J. Hasselgren, J. Munkberg, P. Clarberg, T. Akenine-Möller [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.jacobstrom.com/publications/Strom_et_al_GH08.pdf (18.01.2013).
7. Kabaja K. Storing of High Dynamic Range Images in JPEG/JFIF files / K. Kabaja [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cg.tuwien.ac.at/hostings/cescg/CESCG-2005/papers/Szczecin-Kabaja-Konrad.pdf> (18.01.2013).
8. Загребнюк В.И. Сжимающее отображение в кодировании изображений // Международная научно-техническая конференция «Перспективы развития современных информационных и коммуникационных технологий», Баку 22-24 сентября 2011.
9. Martin D. A Database of Human Segmented Natural Images and its Application to Evaluating Segmentation Algorithms and Measuring Ecological Statistics / D. Martin, C. Fowlkes, D. Tal, J. Malik // Proc. 8th Int'l Conf. Computer Vision. – 2001. – Т.2. – P. 416-423.