

# Методы субдискретизации цветоразностных компонент в системах цифрового телевидения

Одним из методов сжатия сигнала цифрового телевидения является дополнительная дискретизация (субдискретизация) сигналов цветоразностных каналов. Сигнал яркости при этом обычно не подвергается дополнительной дискретизации. Существует несколько стандартов субдискретизации цветоразностных сигналов стандартной и высокой четкости для разных кодеков. Приведены возможные ошибки, возникающие на этапах переходов из одного цветового пространства в другое и при проведении субдискретизации. Такие ошибки являются наиболее сложными для определения и коррекции и приводят к возможности выхода сигналов за гамму цветов при отображении изображения на экране монитора. В данной работе приведено исследование существующих алгоритмов и методов борьбы с искажениями сигналов цветности, а так же предложен новый метод детектирования и коррекции искажений сигналов разных цветовых каналов.

Поташников А.М.,

Романов С.Г.

В современных системах цифрового телевизионного вещания (ЦТВ), большое внимание уделяется проблемам сжатия. Для увеличения степени сжатия видеоинформации в системах цифрового телевидения при кодировании учитываются особенности зрительной системы человека (ЗСЧ) [1]. Одной из ее особенностей является то, что человеческий глаз по цветности имеет меньшую пространственную разрешающую способность, чем по яркости. Поэтому пространственная дискретизация яркостной компоненты (Y) часто производится с большей частотой, чем цветоразностных (Cr и Cb). Такой тип дискретизации цветоразностных составляющих называется цветовой субдискретизацией, поскольку при этом количество отсчетов цветоразностных компонент на изображении меньше, чем отсчетов яркостной компоненты. Использование цветовой субдискретизации позволяет обеспечить более эффективное сжатие видеоинформации, за счет устранения избыточности цветности. Однако при разработке таких методов цветовой субдискретизации, проблеме достоверности значений сигналов цветности уделяется недостаточно внимания.

Цветовая субдискретизация используются почти во всех системах сжатия цифрового сигнала. В разных системах применяют типы цветовой субдискретизации, различающиеся частотой следования отсчетов цветоразностных компонент в горизонтальном и вертикальном направлении и их взаимным расположением. Различие периода следования отсчетов приводит к определенным видам ошибок при восстановлении сигнала для отображения на экране.

При обработке изображений, подвергшихся цветовой субдискретизации, могут получаться цвета, которые невозможно воспроизвести на экране. Это происходит на границе между яркими и темными участками изображения при большой насыщенности. Рассмотрим подробнее причину возникновения такого типа искажений, называемых "выход за гамму", на примере рисунка 1, где представлено исходное изображение а) и изображение подвергнутое субдискретизации и затем восстановленное б). Исходное изображение представляет собой горизонтальную черно-красную миру, период следования которой равен двум пикселям. Если



Рис. 1. Выход за гамму:  
а) Исходное изображение; б) Искаженное изображение

при цветовой субдискретизации отсчет цветоразностного канала попадает на такую границу, при восстановлении на темной части получаются большие значения цветоразностных каналов, а светлой части уменьшается насыщенность.

Это происходит в силу того, что в формулах преобразования цветовых пространств RGB в YCrCb (1) присутствуют как положительные, так и отрицательные коэффициенты, и при переходе к системе RGB для отображения на экране, могут получаться отрицательные значения компонент R, G или B. Такое явление называется "выход за гамму".

$$\begin{aligned} Y' &= 0.29900 * R' + 0.58700 * G' + 0.11400 * B'; \\ Cb &= -0.14713 * R' - 0.28886 * G' + 0.43600 * B'; \\ Cr &= 0.61500 * R' - 0.51499 * G' - 0.10001 * B'; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} R &= Y' + 1.13983 * Cr; \\ G &= Y' - 0.39465 * Cb - 0.58060 * Cr; \\ B &= Y' + 2.03211 * Cb; \end{aligned} \quad (2)$$

Для объяснения возникновения этих искажений рассмотрим изменения спектра изображения в ходе его преобразований [2]. На рисунке 2 представлены графики изменений значений смежных отсчетов сигналов цветовых составляющих R, G и B исходного изображения, а на рисунке 3 — их нормированные спектры.

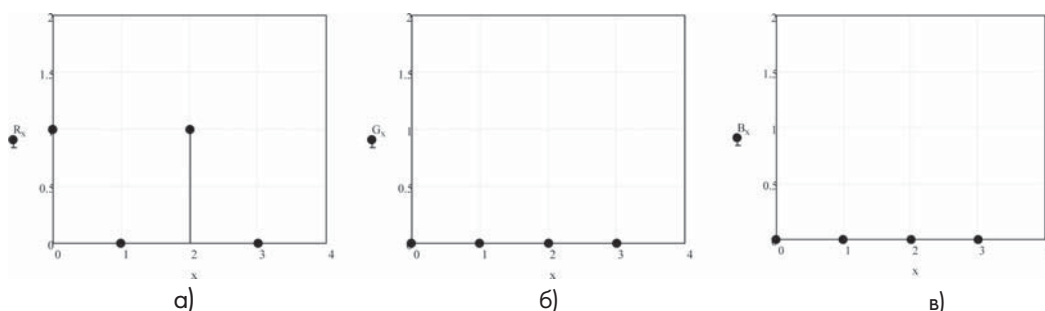


Рис. 2. а) R-составляющая, б) G-составляющая, в) B-составляющая

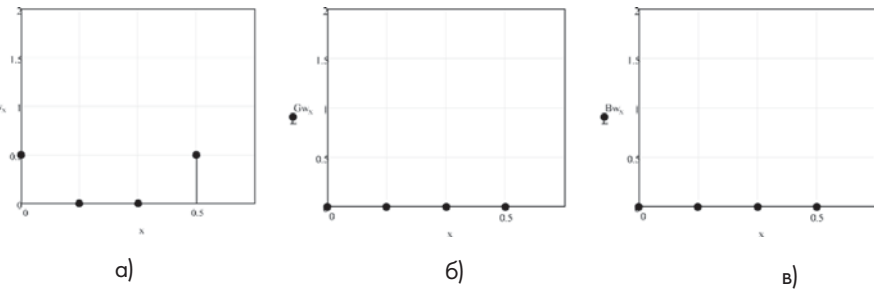


Рис. 3. а) спектр R-составляющей, б) спектр G-составляющей, в) спектр B-составляющей

Поскольку операция преобразования цветовых пространств является линейной, то никаких изменений спектра, кроме амплитудных преобразований существующих частот во время ее выполнения не вносится. Спектр сигнала YCrCb для данного изображения показан на рис.4.

После субдискретизации YCrCb-сигнала, в цветоразностных каналах пропадут высокочастотные составляющие, как показано на рисунке 5, что приведет к потере четкости изображения по цвету, но при этом четкость изображения по яркости останется прежней.

При обратном переходе в систему RGB, в каждом из каналов появятся паразитные высокочастотных гармоники (рис. 6), обуславливаемые наличием высокочастотных составляющих в сигнале яркости.

Это приводит к возможности появления отрицательных значений в системе RGB сигналов, отображение которых невозможно. Обычно при возникновении таких отрицательных значений, их приравнивают к нулю, что приводит к искажению цветов и яркости изображения (рис. 1,б).

Существует несколько способов борьбы с данным явлением. Они основываются на использовании яркости при восстановлении цветов.

В первом методе [3] величина отсчетов цветоразностных компонент рассчитывается пропорционально максимальным значениям цветового тона, который можно использовать при данной яркости, не выходя за гамму доступных для отображения цветов. При этом перераспределяются значения цветоразностных компонент (рис. 4) так, что в среднем цветовой тон не изменяется, однако для каждого пикселя цвет находится в пределах доступных для преобразования в систему RGB границ.

Во втором методе сначала определяются разница между получающимися значениями цветового тона и максимально возможным для отображения значением. После этого значения цветоразностных компонент пикселей, выходящие за пределы доступной гаммы приводятся к максимально возможным, а остаток перераспределяется на остальные пиксели так, что общий цветовой тон не изменился.

Второй метод дает лучшее результирующее изображение. Особенно это заметно на темных областях. Недостатком данного метода является то, что восстановление цветоразностных отсчетов следует проводить дважды: для получения остатков для выходящих за гамму цветов и для конечного восстановления изображения.

Однако оба этих метода проводят коррекцию появившихся ошибок, основываясь на пространственном представлении сигнала. Такой подход является эффективным и легкорезализуемым, только, если область, в рамках которой он проводится, сравнительно невелика. Также, при проведении таких математических преобразований, между соседними областями могут возникнуть искажения, связанные с изменением спектра данных сигналов.

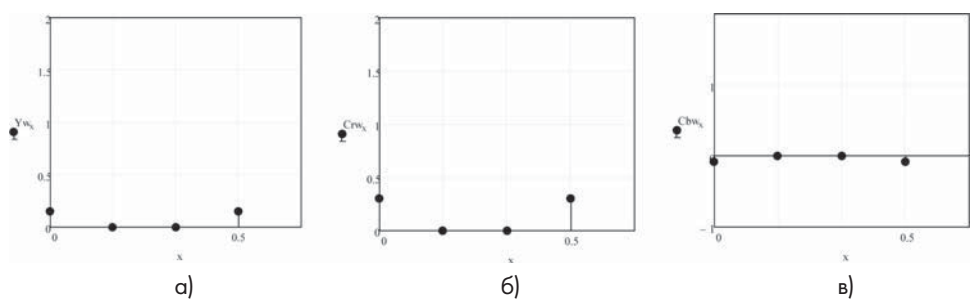


Рис. 4. а) спектр Y-составляющей, б) спектр Cr-составляющей, в) спектр Cb-составляющей

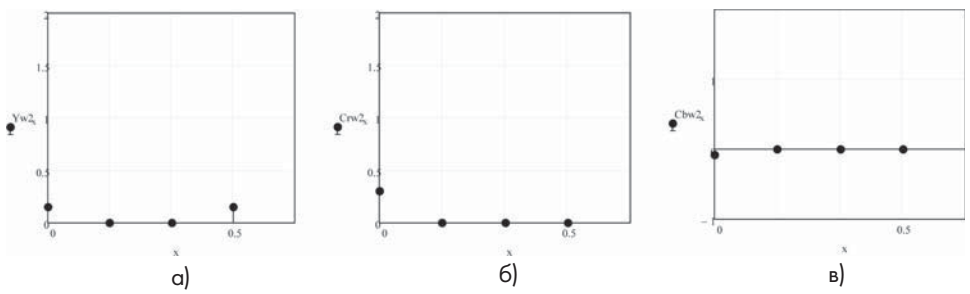


Рис. 5. а) спектр субдискретизированной Y-составляющей, б) спектр субдискретизированной Cr-составляющей, в) спектр субдискретизированной Cb-составляющей.

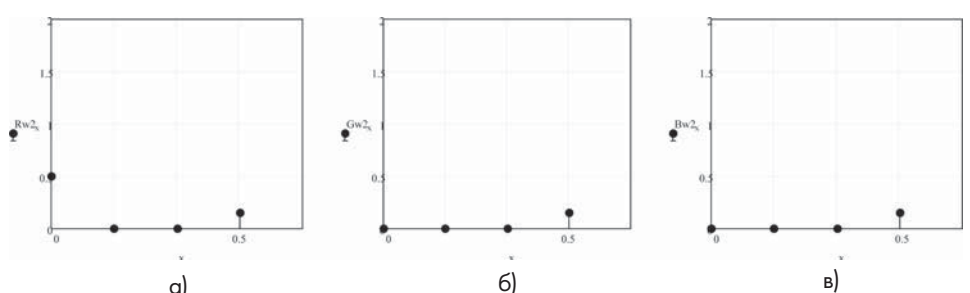


Рис. 6. а) спектр восстановленной R-составляющей, б) спектр восстановленной G-составляющей, в) спектр восстановленной B-составляющей

Если применение коррекции проводить в более обширной области, то целесообразно использовать спектральное представление сигнала. Для определения возникновения высокочастотных искажений сигнала можно использовать крайние условия наличия отрицательных значений в сигнале по его спектру. Таким условием является неравенство (3):

$$A_{x,n} \geq \sum_{i=1}^n |A_{ki}| \quad (3)$$

где  $A_{ki}$  — амплитуда i-ой гармоники, k-ого канала.

Если по какому-то каналу условие не выполняется, то вычисляется ошибка  $E_{nk}$  распределения энергии сигнала этого канал по частотам.

Полученная ошибка вычитается из высокочастотной области сигнала канала и равномерно распределяется по высокочастотным областям других каналов. На рисунке 7 приведен пример коррекции таких искажений для изображения 1,а. Графики на рисунках 7,а-в. представляют изменения в спектральной области, а на рисунках 7,г-д. — в реальной.

Предложенный метод спектрального анализа и реализации коррекции искажений, восстановленных после субдискретизации сигналов цветовых компонент, может улучшить качество изображений, не уменьшая при этом степень сжатия, и не изменяя энергетику сигнала

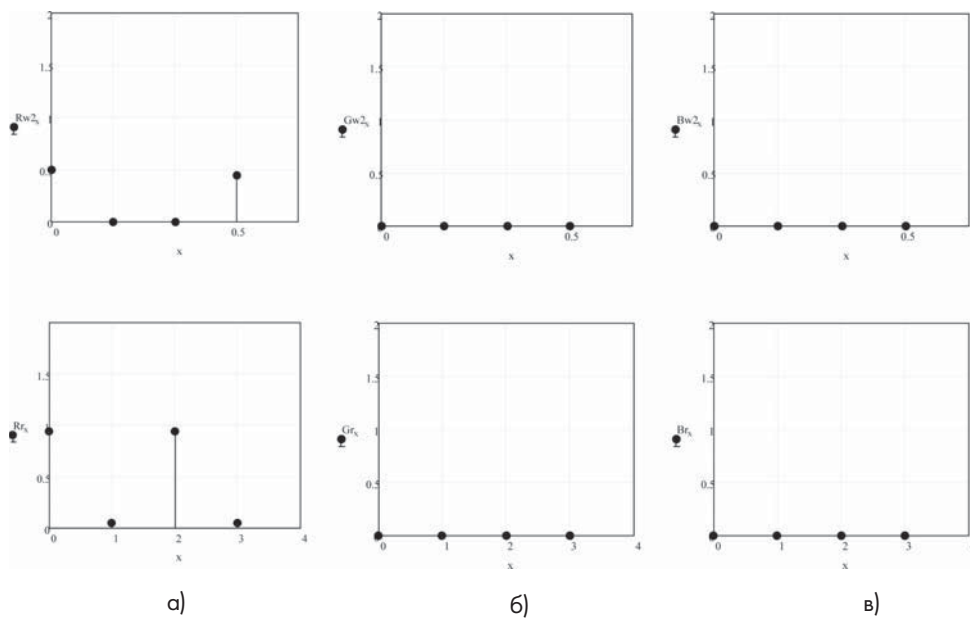


Рис. 7. а) коррекция ВЧ области канала R; б) устранение искажений ВЧ области канала B; в) устранение искажений ВЧ области канала G; г) результирующий сигнал канала R; д) результирующий сигнал канала B; е) результирующий сигнал канала G.

и целостность изображения. Так же этот метод легче реализовать при анализе больших областей изображения, чем уже существующие методы коррекции сигнала в реальной области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Джад Д., Вишецки Г. Цвет в науке и технике. — М.: Издательство "МИР", 1978 г. — 592 с.

2. Mark D. Fairchild Color appearance models. Munsell color science laboratory Rochester Institute of Technology, USA. — 2004. — 437 с.

3. Hirakawa K., Wolfe P. J. Spatio-spectral color filter array design for enhanced image fidelity // in Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, 2007. — Vol.2. — P81-84.

4. Ramanath R., Snyder W. E. Adaptive demosaicking // Journal of Electronic Imaging, 2003. — Vol.12. — P.633-642.