

Т. М. СУХОВ, Е. А. БЕЛЯЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ПОСТОЯННОЙ ЦВЕТОВОЙ ЯРКОСТИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ

Рассмотрен принцип постоянной цветовой яркости для цифровых систем передачи видеоинформации. Приведены практические результаты, показывающие эффективность использования данного принципа по сравнению с системами, которые основаны на принципе постоянной яркости.

Ключевые слова: цифровое телевидение, цветовые преобразования, принцип постоянной яркости, принцип постоянной цветовой яркости.

В настоящее время в цифровых телевизионных системах для формирования цветных сигналов используется принцип постоянной яркости. В соответствии с этим принципом сигнал яркости представляется как сумма прошедших гамма-коррекцию первичных цветковых сигналов с разными весовыми коэффициентами. Уравнения связи между сигналами E'_R , E'_G , E'_B и сигналами E'_Y , E'_{R-Y} , E'_{B-Y} записываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} E'_Y &= 0,299E'_R + 0,587E'_G + 0,114E'_B; \\ E'_{R-Y} &= 0,701E'_R - 0,587E'_G - 0,114E'_B, \\ E'_{B-Y} &= -0,299E'_R - 0,587E'_G + 0,886E'_B. \end{aligned} \right\}$$

На приемной стороне происходит восстановление первичных сигналов E'_R , E'_G , E'_B согласно уравнениям

$$\left. \begin{aligned} E'_R &= E'_Y + E'_{R-Y}; \\ E'_G &= -0,509E'_{R-Y} - 0,194E'_{B-Y}, \\ E'_B &= E'_Y + E'_{B-Y}. \end{aligned} \right\}$$

Преимущества, полученные при разработке цветных телевизионных вещательных систем на основе принципа постоянной яркости, позволили обеспечить их совместимость с парком черно-белых телевизоров, находившихся в то время в эксплуатации. При этом шумы и помехи, возникавшие в канале цветности, влияли только на искажение цветности, не вызывая искажений яркости.

На практике в вещательных системах, основанных на принципе постоянной яркости, происходит потеря четкости цветного изображения [1]: обеспечивается точное воспроизведение яркости моноцветных изображений, но неточно воспроизводится яркость насыщенных цветов. В этом случае определенная доля яркости передается по каналу цветности. Вследствие того, что часть сигнала яркости проходит через канал цветности, который имеет более узкую полосу пропускания (имеется в виду сокращение отсчетов цветности в соответствии с форматами представления видеoinформации — 4:2:2, 4:2:0, 4:1:1 [2]), при передаче сигналов от генератора цветных полос возникают провалы яркости на границах перехода от одного цвета к другому.

Другим существенным недостатком передачи цветных сигналов по принципу постоянной яркости является ухудшение четкости воспроизведения моноцветных деталей и изображений по мере увеличения насыщенности цветов.

При передаче цветовой информации по вещательным каналам телевизионного тракта теряется до пяти градаций яркости синего цвета (к примеру, для синего цвета в диапазоне от 110 до 114 яркостные компоненты приобретают одно и то же значение, равное 13) и до трех градаций красного цвета. Четкость изображений, в сочетаниях цветов которых присутствуют красный и синий, также подвержена потерям по яркостной составляющей.

Потеря количества градаций яркости, обусловленная преобразованиями с использованием принципа постоянной яркости, недопустима во многих системах передачи видеoinформации. К таким системам относятся, например, специализированные системы видеонаблюдения, работающие в условиях низкой освещенности [3], и системы, в которых используются видеокамеры или устройства отображения, работающие только в моноцветном режиме. И наконец, наиболее распространенным способом передачи видеoinформации является печать цветных изображений на моноцветных печатающих устройствах, драйверы которых осуществляют перевод изображений в градации серого, что приводит к потере яркости отпечатанных изображений.

Недостатки, свойственные принципу постоянной яркости, устраняются при использовании нового подхода к представлению и передаче цветных сигналов.

В работе [1] предложен принцип постоянной цветовой яркости, в соответствии с которым преобразование первичных цветных телевизионных сигналов после гамма-коррекции осуществляется путем вычисления цветовой амплитуды передаваемого цвета. Для передачи информации о цветности формируются сигналы, отвечающие за насыщенность данного цвета синим и красным первичными цветами телевизионной камеры:

$$E'_C = \sqrt{E'_R{}^2 + E'_G{}^2 + E'_B{}^2};$$

$$E'_1 = E'_R / E'_C, E'_2 = E'_B / E'_C,$$

где E'_C — цветовая амплитуда передаваемого цвета; E'_1 и E'_2 — сигналы, определяющие насыщенность данного цвета красным и синим первичными цветами.

Восстановление первичных цветных сигналов осуществляется путем перемножения сигналов E'_C и E'_1 , E'_2 :

$$E'_R = E'_C E'_1, E'_B = E'_C E'_2.$$

Сигнал E'_G формируется из сигналов E'_C , E'_R , E'_B согласно следующему преобразованию:

$$E'_G = \sqrt{E'_C{}^2 - E'_R{}^2 - E'_B{}^2}.$$

При реализации принципа постоянной цветовой яркости моноцветные изображения и детали изображений передаются с полной четкостью, так как для таких изображений сигналы

E_1' и E_2' постоянны и все изменения цветовой яркости передаются по широкополосному каналу. Поэтому систему с цветовым кодированием по принципу постоянной цветовой яркости можно назвать моноцветно-широкополосной. В гетерохромных изображениях по узкополосным каналам передается информация о насыщенности цветных деталей синими и красными цветами, а также об изменениях пурпурной составляющей цвета. Таким образом, системы, использующие принцип постоянной цветовой яркости, лучше соответствуют особенностям зрительной системы человека и характеризуются меньшими потерями, связанными с распределением цветных деталей изображений (цветные изображения, как правило, содержат большое число крупных цветных деталей, которые имеют мелкие детали той же цветности).

Для численной оценки преимуществ рассматриваемого подхода в настоящей работе предлагается использовать энтропию яркостной составляющей восстановленного изображения, которая оценивается как

$$H(Y) = -\sum_{i=0}^{255} \left(\frac{n_i}{N} \right) \cdot \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right),$$

где n_i — частота появления пиксела яркостью i , N — число пикселей в изображении.

Как следует из свойств энтропии, более информативным можно считать то цветовое преобразование, которое при одинаковых входных грациях яркости изображения, будет иметь большее значение энтропии для одного и того же входного сигнала. Другими словами, такое преобразование сохраняет большее количество информации о яркости исходного изображения.

В таблице приведены значения энтропии яркостного сигнала при передаче изображения на основе принципа постоянной яркости (Y_1) и принципа постоянной цветовой яркости (Y_2). Дополнительно приведены значения энтропии при использовании фильтров моноцветных преобразований, входящих в пакет PhotoShop [4]. Для проведения эксперимента были использованы тестовые изображения [5], различные по цветовым деталям.

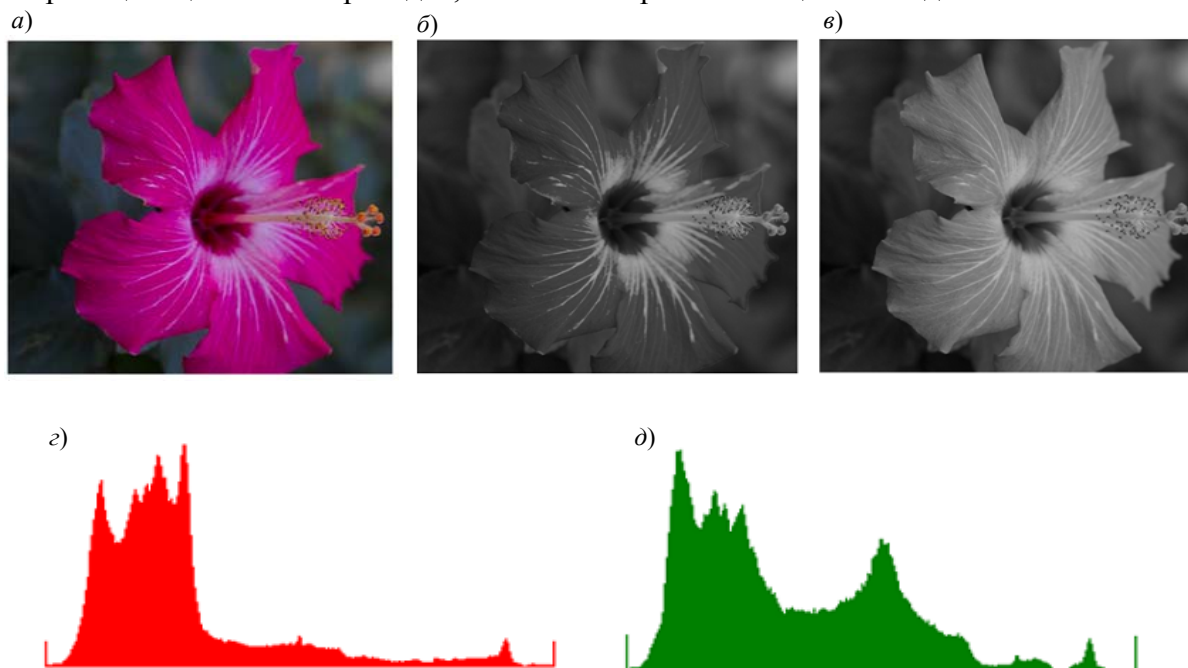
Тестовое изображение	Y_1	Photoshop, Grayscale	Photoshop, CMYK	Photoshop, LAB	Y_2
Tunnel	6,08	6,54	6,48	6,52	6,67
Hdr	6,98	6,65	6,64	7,15	7,06
Violet	6,80	6,51	6,45	6,45	7,30
Blue flowers	7,19	6,94	6,69	6,94	7,34
Flower foveon	6,98	6,92	6,88	6,92	7,40
Car	7,32	7,16	7,11	7,16	7,44
Bird	7,49	7,35	7,32	7,35	7,53
Fashion girl	7,48	7,23	7,18	7,23	7,54

Как видно из таблицы, предложенное преобразование сохраняет большее количество информации, чем преобразования, использующие принцип постоянной яркости и фильтры.

На рисунке приведены исходное изображение “flower foveon” (*a*), изображения яркостной составляющей, полученные с использованием принципа постоянной яркости (*б*) и принципа постоянной цветовой яркости (*в*), а также гистограммы распределения яркостей для систем, основанных на принципе Y_1 и принципе Y_2 (на рисунке *г* и *д* соответственно).

Использование системы передачи информации на основе принципа постоянной цветовой яркости для кодирования изображений и видеопоследовательностей, представленных в форматах с применением прореживания цветоразностных составляющих, позволяет получить выигрыш по четкости изображений. Это обусловлено тем, что в системе с постоянной яркостью часть яркостного сигнала теряется вследствие усреднения отсчетов цветоразностных компонентов.

В проведенном эксперименте для оценки потерь по четкости использовалось изображение “flower foveon”, которое насыщено цветами красного и синего оттенков. Было выполнено прямое преобразование и восстановление сигнала с применением принципа постоянной яркости и постоянной цветовой яркости, при этом было проведено прореживание цветоразностных составляющих в соответствии с форматом представления видеoinформации 4:2:0. В изображении, восстановленном по принципу постоянной яркости, наблюдалась потеря четкости границ на цветовых переходах, а также потеря мелких цветочных деталей.



Итак, принцип постоянной яркости, используемый при формировании цветочных телевизионных сигналов, имеет ряд недостатков, основными из которых являются уменьшение яркости насыщенных цветов и ухудшение четкости цветных изображений. Применение же принципа постоянной цветовой яркости позволяет повысить четкость исходных изображений, а значит, улучшить качество некоторых систем передачи видеoinформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полосин Л. Л. Принцип постоянной цветочной яркости в телевидении // Телевизионная техника и связь. 1995. Спец. вып. С. 28—37.
2. Смирнов А. В., Пескин А. Е. Цифровое телевидение. От теории к практике. М. : Горячая Линия—Телеком, 2005. 349 с.
3. Уваров Н. Е. Цифровая обработка изображений в телевизионных системах наблюдения и охраны // CCTV фокус. 2004. № 3 [Электронный ресурс]: <http://www.proccctv.ru/images/file/cctvfocus_09.pdf>.
4. [Электронный ресурс]: <<http://www.adobe.com/ru/products/photoshop/family/>>.
5. [Электронный ресурс]: <http://www.imagecompression.info/test_images/>.

Сведения об авторах

Тимофей Михайлович Сухов

— аспирант; Балтийский государственный технический университет им. Д. Ф. Устинова, кафедра радиоэлектронных систем управления, Санкт-Петербург; E-mail: tuhov@mail.ru

Евгений Александрович Беляев

— канд. техн. наук; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: e_beliaev@mail.ru

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию
05.10.10 г.