

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТНОГО ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Е.А. Зрюмов

Сигнал, поступающий с видеокамеры, образуется за счет объединения нескольких фоточувствительных элементов, на поверхности которых нанесены кодирующие светофильтры [1]. Совокупность нескольких фоточувствительных элементов представляет один цветной фоточувствительный элемент (ЦФЧЭ). Очевидно, что уровень сигнала будет зависеть от длины волны падающего излучения. Настоящая статья посвящена изучению относительной спектральной характеристики ЦФЧЭ. В практическом приложении относительная спектральная характеристика необходима для оценки апертурной характеристики ЦФЧЭ.

Относительная спектральная характеристика фоточувствительного элемента, на поверхности которого нанесен кодирующий светофильтр, имеет как правило один глобальный максимум, соответствующий длине волны пропускания этого светофильтра [2]. Причем уровень максимального значения спектральной характеристики может быть различным и детерминирован видом применяемого кодирующего светофильтра.

Примем относительную спектральную характеристику отдельного фоточувствительного элемента, на поверхности которого нанесен кодирующий светофильтр, в виде Гауссоиды. Максимум Гауссоиды приходится на длину волны пропускания этого светофильтра, уровень максимума этой спектральной характеристики определяется некоторой постоянной. Если рассматривать цветовую модель RGB, то относительные спектральные характеристики фоточувствительных элементов, соответствующих красному, зеленому и синему цветам, выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} S_{\text{красный}}(\lambda) &= A_{\text{красный}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{красный}})^2}{2\sigma^2}\right), \\ S_{\text{зеленый}}(\lambda) &= A_{\text{зеленый}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{зеленый}})^2}{2\sigma^2}\right), \\ S_{\text{синий}}(\lambda) &= A_{\text{синий}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{синий}})^2}{2\sigma^2}\right), \end{aligned} \quad (1)$$

где $A_{\text{красный}}$, $A_{\text{зеленый}}$, $A_{\text{синий}}$ – уровни максимумов относительных спектральных характеристик соответствующего цвета; $\lambda_{\text{красный}}$, $\lambda_{\text{зеленый}}$, $\lambda_{\text{синий}}$ – длины волн пропускания, соответствующие максимумам; σ – размер Гауссоиды по уровню 0,606.

Тогда относительная спектральная характеристика ЦФЧЭ описывается уравнением:

$$S(\lambda) = \frac{1}{S_{\text{max}}} \cdot f_{\text{излучатель}}(\lambda) * (S_{\text{красный}}(\lambda) + S_{\text{зеленый}}(\lambda) + S_{\text{синий}}(\lambda)), \quad (2)$$

где $f_{\text{излучатель}}(\lambda)$ – функция, характеризующая источник излучения;

S_{max} – максимальный уровень относительной спектральной характеристики ЦФЧЭ.

Для идеального монохроматического излучателя функцию $f_{\text{излучатель}}(\lambda)$ можно представить в виде δ -функции, и формула (2) переписывается в виде:

$$\begin{aligned} S(\lambda) &= \frac{1}{S_{\text{max}}} \cdot \delta(\lambda) * (S_{\text{красный}}(\lambda) + \\ &+ S_{\text{зеленый}}(\lambda) + S_{\text{синий}}(\lambda)) = \frac{1}{S_{\text{max}}} \times \\ &\times (A_{\text{красный}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{красный}})^2}{2\sigma^2}\right) + \\ &+ A_{\text{зеленый}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{зеленый}})^2}{2\sigma^2}\right) + \\ &+ A_{\text{синий}} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_{\text{синий}})^2}{2\sigma^2}\right)). \end{aligned} \quad (3)$$

На выходе монохроматора из-за конечных размеров апертурной диафрагмы получают квазимонохроматическую световую волну с непрерывным спектром. Представим функцию $f_{\text{излучатель}}(\lambda)$ в виде прямоугольника:

$$f_{\text{излучатель}}(\lambda) = \begin{cases} 1, & \lambda \in [\lambda - \Delta\lambda; \lambda + \Delta\lambda], \\ 0, & x \in (-\infty; \lambda - \Delta\lambda) \cup (\lambda + \Delta\lambda; +\infty). \end{cases} \quad (1)$$

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТНОГО ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Тогда формула (2) переписывается как:

$$S(\lambda) = \frac{1}{S_{\max}} \sum_{i=1}^3 \int_{\lambda-\Delta\lambda}^{\lambda+\Delta\lambda} A_i \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_i - \xi)^2}{2\sigma^2}\right) d\xi. \quad (4)$$

В формировании ЦФЧЭ могут участвовать различные наборы светофильтров. Для любой другой мозаики светофильтров, в которой использована другая цветовая модель, также можно построить теоретическую относительную спектральную характеристику, причем количество слагаемых в формуле (2) будет равно количеству основных цветов цветовой модели со своими постоянными коэффициентами. То есть общий вид теоретической спектральной характеристики можно записать в виде:

$$S(\lambda) = \frac{1}{S_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^n f_{\text{излучатель}}(\lambda) * S_i(\lambda) = \frac{1}{S_{\max}} \sum_{i=1}^n \int_{-\infty}^{+\infty} f_{\text{излучатель}}(\xi) \cdot A_i \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_i - \xi)^2}{2\sigma^2}\right) d\xi. \quad (5)$$

где n – количество основных цветов в используемой цветовой модели; $S_i(\lambda)$ – относительная спектральная характеристика, соответствующая фоточувствительному элементу, на который нанесен светофильтр i -го цвета; A_i – уровень максимума относительной спектральной характеристики i -го цвета; λ_i –

длина волны пропускания, соответствующая i -му максимуму.

Для идеального излучателя имеем:

$$S(\lambda) = \frac{1}{S_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^n A_i \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_i)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (6)$$

Для реального излучателя модель принимает вид:

$$S(\lambda) = \frac{1}{S_{\max}} \sum_{i=1}^n \int_{\lambda-\Delta\lambda}^{\lambda+\Delta\lambda} A_i \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_i - \xi)^2}{2\sigma^2}\right) d\xi. \quad (7)$$

По полученной относительной спектральной характеристике одного цветного фоточувствительного элемента можно сделать вывод о том, какая цветовая модель применена в видеокамере для построения мозаики светофильтров и какой вклад в сигнал дает фоточувствительный элемент с нанесенным на его поверхность светофильтром.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев И.С., Вишневецкий Г.И., Котов Б.А., Радченко П.И. Выбор фоточувствительных матриц приборов с переносом заряда для цветных ТВ камер // Электронная промышленность. – 1982. – №7.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. – М.: Наука, 1970.