

МОДЕЛЬ СМАЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ВИБРАЦИЯХ

Е. А. Зрюмов, П. А. Зрюмов, С. П. Пронин, А. А. Фадеев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

Смаз вызывает пониженную четкость и резкость изображения движущегося тест-объекта из-за того, что за время экспозиции объект сдвигается относительно фотоприемника на значительную величину. Во многих источниках рассматривается смаз изображения тест-объекта, но только при ограничении: скорость движения объекта постоянна [1].

На практике при вибрациях объект может иметь изменяющуюся скорость, поэтому смаз изображения тест-объекта может значительно отличаться от теоретически предсказанного. Рассмотрим процесс смаза изображения тест-объекта при гармонических вибрациях [2].

Очевидно, что чем выше скорость перемещения тест-объекта, тем меньше будет освещенность, зарегистрированная на фотоприемнике и наоборот. Следовательно, закон изменения освещенности можно представить в виде:

$$E(x(t)) = k_1 - k_2 \cdot x'(t). \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент, характеризующий освещенность в статическом положении тест-объекта; k_2 – коэффициент, характеризующий вклад скорости в итоговую освещенность.

Так как закон изменения координаты тест-объекта гармонический, то

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{R}{2} \sin(2\pi f_0 t) = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right), \\ x'(t) &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{R}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right) \end{aligned} \quad (2)$$

где R – размах вибрации, t – текущее время, f_0 – частота гармонической вибрации, T_0 – период гармонической вибрации.

Учтем, что освещенность определяется положением тест-объекта и зависит от его скорости, следовательно, чтобы решить задачу определения освещенности при вибрациях объекта, необходимо получить функциональную зависимость скорости от его положения:

$$x'(t) = \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{R}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right) =$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - \left(\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)\right)^2} = \\ &= \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2(t)} \end{aligned}, \quad (3)$$

тогда освещенность будет зависеть от координаты следующим образом:

$$E(x) = k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2}. \quad (4)$$

Распределение экспозиции от координаты определяется количеством освещенности, накопленной на фотоприемнике за время экспозиции, при котором тест-объект перемещается из точки x_1 в x_2 [1]:

$$\begin{aligned} H(t) &= \int_{x_1}^{x_2} E(x) dx = \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \left[k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} \right] dx \end{aligned} \quad (5)$$

Данный интеграл имеет следующее решение:

$$H(t) = \left[k_1 x - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \left(\frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{2x}{R} \right) \right]_{x_1}^{x_2}.$$

В цифровых видеокамерах экспозиция дискретна и определяется временем экспозиции $t_{\text{экс}}$, причем через каждый период смены кадров T_{TV} она изменяется. Причем за время экспозиции при гармоническом законе вибрации тест-объект в n -ом кадре перемещается из точки

$$x_1 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} n T_{\text{TV}}\right) \quad (6)$$

в точку

$$x_2 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} (n T_{\text{TV}} + t_{\text{экс}})\right). \quad (7)$$

Если учесть, что в большинстве случаев период смены кадров T_{TV} равен времени экспозиции $t_{экс}$, данное выражение можно переписать в виде:

$$x_2 = \frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0}(n+1)T_{TV}\right).$$

Тогда распределение экспозиции определяется количеством освещенности, накопленной на фотоприемнике за n -ый кадр, будет равно:

$$H(nT_{TV}) = \left[k_1 x - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \left(\frac{R^2}{2} \arcsin \frac{2x}{R} + \frac{x}{2} \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2} \right) \right] \Bigg|_{\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} n T_{TV}\right)}^{\frac{R}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} (n+1) T_{TV}\right)} =$$

$$= k_1 \cdot \frac{R}{2} \left(\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}(n+1)T_{TV}\right) - \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} n T_{TV}\right) \right) - k_2 \cdot \frac{\pi}{T_0} \cdot \frac{R^2}{2} \cdot \frac{2\pi}{T_0} T_{TV} -$$

$$- k_2 \cdot \frac{\pi}{T_0} \cdot \left(\frac{R^2}{8} \sin\left(\frac{4\pi}{T_0}(n+1)T_{TV}\right) - \frac{R^2}{8} \sin\left(\frac{4\pi}{T_0} n T_{TV}\right) \right). \quad (8)$$

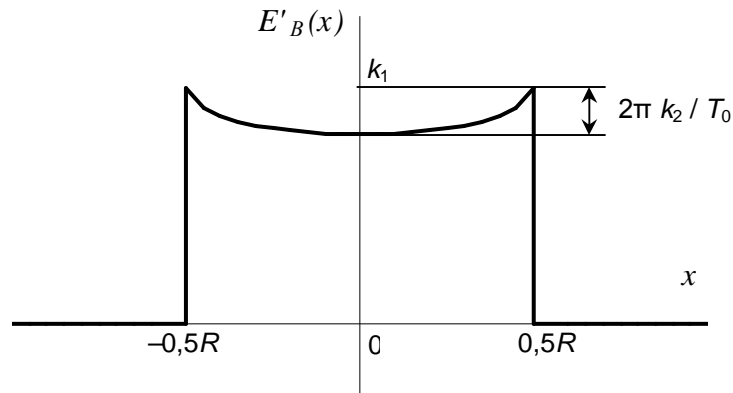


Рисунок 1 – Характеристика вибрации

Как видно из данной формулы, распределение экспозиции не зависит от номера кадра, если период вибрации T_0 кратен половине периода смены кадров T_{TV} . Именно в этом случае и наблюдается стробоскопический эффект. В этом случае вклад вибрации в выходное изображение тест-объекта можно рассматривать как характеристику вибрации изображения, не зависящую от времени и имеющую вид:

$$E'_B(x) = k_1 - k_2 \cdot \frac{2\pi}{T_0} \cdot \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 - x^2}. \quad (9)$$

На рисунке 1 представлена характеристика гармонической вибрации. Как видно из рисунка 1, вид этой характеристики определяется параметрами k_1 , k_2 и периодом вибрации T_0 . Параметры k_1 , k_2 являются свойства-

ми фотоприемника видеокамеры, характеризующими его чувствительность к внешней засветке, и зависят от технологии изготовления. Как правило, значение параметра k_2 стремится к нулю, что приводит к вырождению характеристики вибрации $E'_B(x)$ в функцию прямоугольного импульса шириной, равной размаху вибрации R .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гребенников, О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе) / О.Ф. Гребенников. – М.: Искусство, 1982. – 239 с.
2. Пронин, С. П. Контроль параметров вибрации объекта по оптическому изображению тест-объекта на экране монитора персонального компьютера / С. П. Пронин, А. В. Юденков, Е. А. Зрюмов // Естественные и технические науки. – М.: Изд-во Спутник+, 2009. – № 5. – С. 268-274.