

УДК 681.723.078, 681.775.078, 681.777.078

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА В ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ С МАТРИЧНЫМИ ПРИЁМНИКАМИ

Старосотников Н.О.¹, Фёдорцев Р.В.²

¹ ОАО «Пеленг», Минск, Республика Беларусь

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В контрольно-измерительных оптических приборах основным критерием качества является точность. Такие оптические приборы как автоколлиматоры [1], микроскопы, звёздные датчики и др. используют в качестве приёмника оптического сигнала ПЗС-матрицы. Точность в данных приборах зависит от точности определения смещения энергетических центров изображений на ПЗС-матрице. Координаты энергетического центра изображения на ПЗС-матрице вычисляются с субпиксельной точностью. На точность измерений с использованием ПЗС-матрицы влияют многие факторы, в том числе дискретность структуры [2], из-за которой возникает методическая погрешность (МП) при определении энергетического центра тяжести изображения.

Для исследования свойств и величины МП в среде MathCAD Prime 3.0 была построена математическая модель изображения ТО в плоскости матричного фотоприёмника.

Смоделированы различные варианты рисунков тест-объекта (ТО) $T(x, y)$. Объектив формирует изображение ТО. Математически передаточная функция объектива выражается функцией рассеяния точки (ФРТ), которую можно описать функцией Бесселя 1 рода 1 порядка:

$$B(r) = \left(\frac{2J_1(m)}{m} \right)^2,$$

где $m(r) = 2\pi/(\lambda \cdot NA' \cdot r)$ – аргумент функции Бесселя; NA' – числовая апертура объектива в пространстве изображений; λ – основная длина волны объектива; $r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}$ – радиус; x, y – аргументы [3].

Для получения распределения энергии в плоскости ПЗС-матрицы необходимо произвести свёртку функций изображения ТО и ФРТ:

$$E(r) = B(r) * T(r).$$

Координаты центра тяжести изображения ТО, на ПЗС-матрице определяются как:

$$C_x = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m} \cdot n}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m}},$$

$$C_y = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m} \cdot m}{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M I_{n,m}},$$

где $I_{n,m}$ – элементы матрицы яркостей; N, M –

число столбцов и строк матрицы яркостей; n, m – порядковые индексы по столбцам и строкам матрицы [4].

Далее производилось смещение изображения относительно элементов пикселей ПЗС-матрицы с шагом $1/3 dx$, где dx – размер пикселя по одной координате.

МП определялась как разность между смоделированной оценкой энергетического центра тяжести и заданной.

МП в одномерном случае описывается синусоидальной функцией с периодом 1 пикс, т.е. максимальная величина ошибки возникает при смещении изображения ТО на величину 0,25 пикс и 0,75 пикс, а при смещении на 0,5 либо 1 пикс – ошибка равняется нулю относительно первоначального положения (рисунок 1):

$$F(x) = \sin(2\pi f_x x),$$

где f_x – пространственная частота ($f_x = 1/dx$), зависящая от линейного размера пикселя ПЗС-матрицы (dx) [5].

Далее производилось смещение изображения ТО на ПЗС-матрице по двум координатам (x, y) одновременно. Полученные результаты свидетельствуют об аналогичной, синусоидальной, зависимости МП от величины смещения. Максимальная величина МП также равняется 0,011 пикс.

Исследовалась зависимость МП от размера рисунка ТО (рисунок 2). Оптимальным вариантом является размер ТО равный 3, 6-9, 11, 12, 14 пикс. Стоит отметить, что в оптических приборах присутствует не только МП определения энергетического центра тяжести, но и ошибки, связанные с величиной шумов в оптико-электронном тракте. Поэтому при выборе размера рисунка ТО следует учитывать и другие факторы, которые влияют на точность измерений (в т.ч. и шум).

Результаты компьютерного моделирования продемонстрировали синусоидальный характер МП. МП зависит от величины смещения изображения ТО на ПЗС-матрице. Это позволяет при непосредственных измерениях с помощью программного обеспечения компенсировать МП.

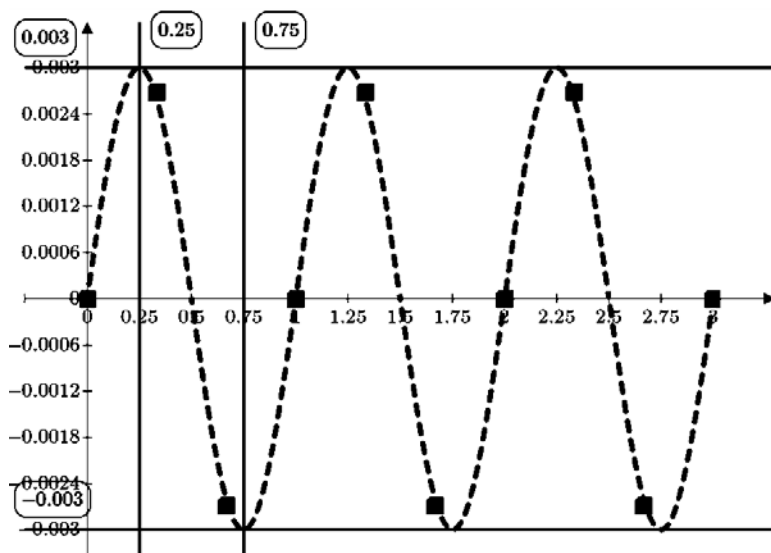


Рисунок 1 – Зависимость величины методической погрешности от смещения изображения в пределах 3 пикс (размер рисунка ТО – 6 пикс)

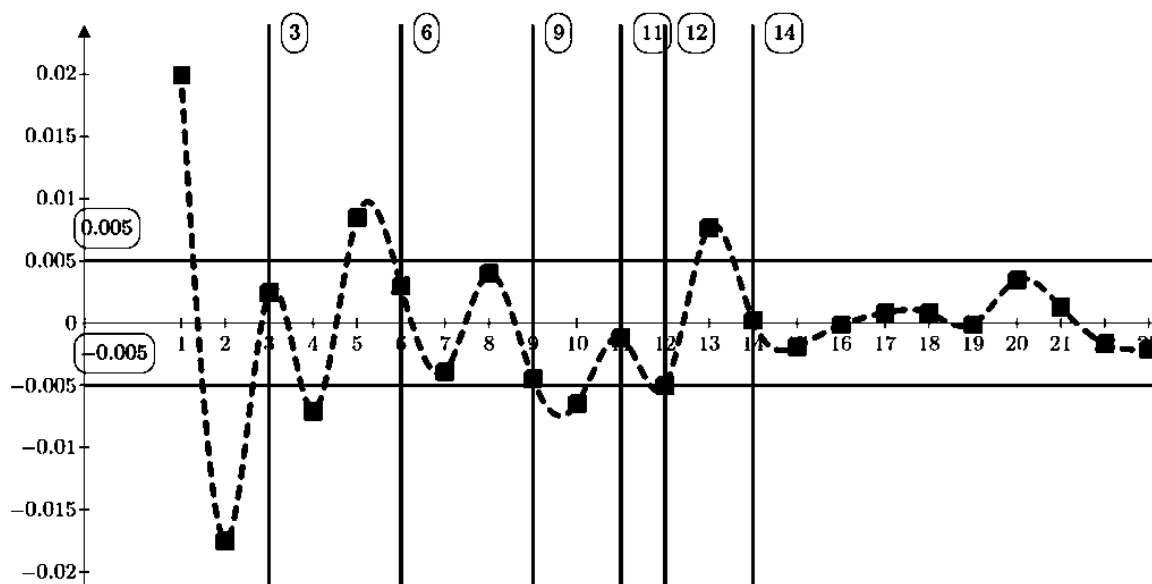


Рисунок 2 – Зависимость величины методической погрешности от размера рисунка ТО, пикс (пунктирная линия – линейная интерполяция результатов моделирования)

Исследовалась зависимость МП от размера рисунка ТО. На величину МП в данном случае влияет взаимное положение изображения ТО и пикселей ПЗС-матрицы.

1. Старосотников, Н.О. Высокоточный цифровой автоколлиматор для измерения малых углов / Н.О. Старосотников, Р.В. Фёдорцев – Сборник трудов 7-й международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения». Минск, Изд-во «Техническая литература» БНТУ, 2014. – С. 243.
2. Королев, А.Н. Исследование точности позиционирования изображения на ПЗС матрице / А.Н. Королев, А.И. Гарцуев – Измерительная техника, 2004, №5. С. 20-22.
3. Handbook of optics. Volume II. Design, Fabrication, and Testing; Sources and Detectors; Radiometry and Photometry. Third edition. Michael Bass, Virendra N. Mahajan, Eric Van Stryland, 2010.
4. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В. А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физмалит, 2003 – 784 с.
5. Аванесов, Г.А. Исследование смещения энергетического центра изображений звёзд относительно геометрического центра на ПЗС матрице и коррекция методической ошибки. / Г.А. Аванесов, Т.В. Кондратьева, А.В.Никитин – Таруса, 22-25 сентября 2008. Сборник трудов. ИКИ РАН, 2009.