

УДК 681.786

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРОЗОНАЛЬНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ

О.Ю. Лашманов, А.В. Пантюшин, А.Н. Тимофеев, С.Н. Ярышев

Рассмотрены возможности использования оценок координат изображения излучающих реперных меток в синей, зеленой и красной областях спектра на матричном приемнике, реализованном по шаблону Байера.

**Ключевые слова:** метод спектрзональный, система оптико-электронная, оценки координат изображений меток.

### Введение

Существующие процедуры обследования технического состояния и экспертизы промышленной безопасности подавляющего большинства зданий и сооружений имеют нерегулярный характер, поэтому с целью предупреждения техногенных катастроф актуально применение распределенных оптико-электронных систем (РОЭС) долговременного и оперативного контроля пространственного положения элементов [1]. Для таких систем необходима возможность обеспечивать параллельные и независимые измерения смещений с погрешностью до 0,1 мм и высокой частотой обновления информации (до 10 кГц) для множества контрольных точек. РОЭС с многоэлементными фотоприемниками (МФП) имеют целый ряд преимуществ по сравнению с остальными методами измерения координат. Потенциальная точность для таких измерителей достигает 0,05 элемента от шага фотоприемной многоэлементной структуры [2]. К тому же комплексирование информации по длине волны оптического излучения в многоканальных РОЭС с МФП [3] позволяет повысить эффективность работы проектируемых систем.

В современных РОЭС существенное влияние на процессы контроля оказывает среда распространения оптического излучения. Прежде всего, на величину погрешности измерений будут оказывать влияние такие явления в атмосфере, как рефракция и турбулентность воздушного тракта. Рефракция вызывает систематическое отклонение направления распространения оптического излучения, в основном, вследствие температурного градиента показателя преломления воздуха. Одним из способов уменьшения влияния рефракции является использование принципа спектрзональной селекции [4].

Наиболее доступным вариантом для реализации спектрзональной селекции является применение трехканального спектрзонального датчика, у которого каналы соответствуют трем основным цветам системы RGB. В результате такого выбора появляется возможность использования трех независимых спектрзональных каналов с единого фотоприемного матричного поля.

Таким образом, целью настоящей работы являлось изложение результатов исследований принципиальных возможностей и реализации спектрзонального метода для ослабления влияния воздушного тракта при контроле пространственного положения активных визирных марок РОЭС с МФП.

Наиболее доступным вариантом для реализации спектрзональной селекции является применение трехканального спектрзонального датчика, у которого каналы соответствуют трем основным цветам системы RGB. В результате такого выбора появляется возможность использования трех независимых спектрзональных каналов с единого фотоприемного матричного поля. В связи с этим особенностями прикладных исследований являлась оценка характеристик РОЭС для случая реперных меток (РМ), реализованных в виде полупроводниковых излучающих диодов (ПВД) белого цвета.

Вследствие различного количества элементов матричного цветного фотоприемника с байеровским шаблоном для каждого спектрзонального канала требуются различные алгоритмы обработки малоразмерного изображения РМ.

### Алгоритмы оценки координат изображений реперных меток при спектрзональных измерениях

В соответствии с расположением элементов байеровского шаблона для матричного фотоприемника синие элементы (пиксели) занимают нечетные номера элементов матричного поля и располагаются в

нечетных строках (рис. 1, а), красные элементы (пиксели) занимают четные номера элементов и располагаются в четных строках (рис. 1, б), в то время как зеленые элементы (пиксели) занимают четные номера элементов и располагаются в нечетных строках (рис. 1, в), а нечетные номера элементов располагаются в четных строках.

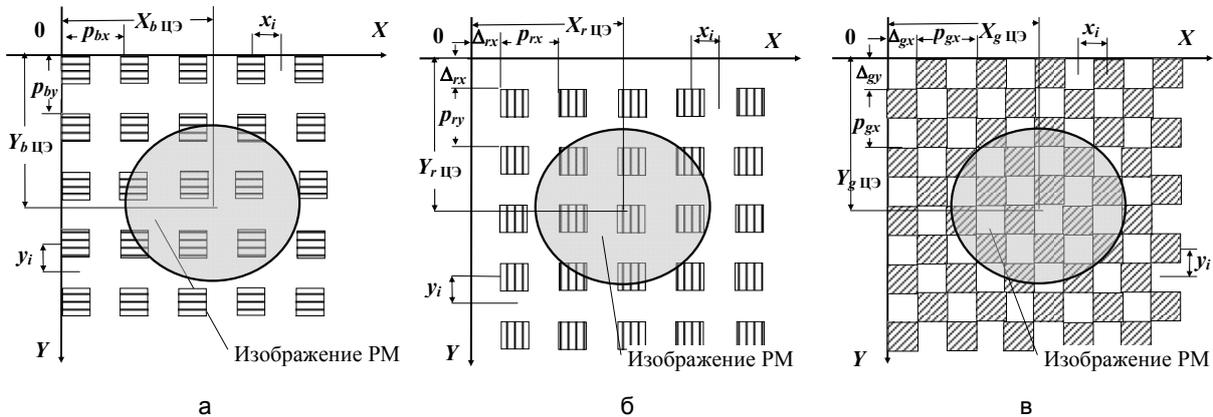


Рис. 1. Пространственное расположение матричных цветовых полей фоточувствительных элементов единой приемной матрицы в соответствии с байеровским шаблоном: а – расположение синих полей (горизонтальная штриховка), б – расположение красных полей (вертикальная штриховка), в – расположение зеленых полей (наклонная штриховка)

Шаг синих элементов  $P_{bx}$  и  $P_{by}$  по координатам  $0X$  и  $0Y$  будет составлять удвоенную величину по сравнению с шагом матричного поля  $x_i$  и  $y_i$  по соответствующим координатам:

$$P_{bx} = P_x, P_{by} = P_y.$$

Для функционирования алгоритма оценки координат малоразмерного объекта методом энергетического центра тяжести требуется, чтобы линейные размеры изображения РМ составляли не менее 4–5 размеров элемента (пикселя) [2]. В этом случае вычисление оценки координат центра изображения  $X_{b\text{ЦЭ}}$  и  $Y_{b\text{ЦЭ}}$  (рис. 1, а) для синей области спектра можно производить по формулам

$$X_{b\text{ЦЭ}} = \frac{\sum_{j=0}^{j=M} \frac{\sum_{i=0}^{i=N} [Q_i(x_i) x_i]}{\sum_{i=0}^{i=N} Q_i(x_i)}}{M} - 2; \quad Y_{b\text{ЦЭ}} = \frac{\sum_{j=0}^{j=N} \frac{\sum_{i=0}^{i=M} [Q_i(y_i) y_i]}{\sum_{i=0}^{i=M} Q_i(y_i)}}{N} - 2,$$

где  $x_i, y_j$  – координаты элементов, входящих в окрестность  $M \times N$ ;  $M, N$  – величина окрестности, содержащей изображение объекта  $M$  (при этом, для квадратных областей  $M=N$ );  $Q_j(x_i)$  – суммарный сигнал с элементов  $j$ -ой строки, входящих в окрестность  $M$ ;  $Q_i(y_i)$  – суммарный сигнал с элементов  $i$ -го столбца, входящих в окрестность  $M$ .

Для красного канала шаг элементов  $P_{rx}$  и  $P_{ry}$  (рис. 1, б), как и в синем канале, по координатам  $0X$  и  $0Y$  будет составлять удвоенную величину по сравнению с шагом матричного поля  $x_i$  и  $y_i$  по соответствующим координатам:

$$P_{rx} = P_x, P_{ry} = P_y.$$

В этом случае вычисление оценки координат центра изображения  $X_{r\text{ЦЭ}}$  и  $Y_{r\text{ЦЭ}}$  для используемой системы координат  $0XY$  в красной области спектра можно производить по аналогичным формулам синего канала:

$$X_{r\text{ЦЭ}} = \frac{\sum_{j=0}^{j=M} \frac{\sum_{i=0}^{i=N} [Q_i(x_i) x_i]}{\sum_{i=0}^{i=N} Q_i(x_i)}}{M} + 2 + \Delta_{rx}; \quad Y_{r\text{ЦЭ}} = \frac{\sum_{j=0}^{j=N} \frac{\sum_{i=0}^{i=M} [Q_i(y_i) y_i]}{\sum_{i=0}^{i=M} Q_i(y_i)}}{N} + 2 + \Delta_{ry}.$$

При искусственном разделении на два зеленых канала в первом канале оставим только те зеленые элементы, которые принадлежат нечетным строкам. Тогда для введенной системы координат  $0XY$  значения оценок координат центра изображения  $X_{g1\text{ЦЭ}}$  и  $Y_{g1\text{ЦЭ}}$  (рис. 1, в) составят

$$X_{g1ЦЭ} = \frac{\sum_{j=0}^{j=M} \frac{\sum_{i=0}^{i=N} [Q_i(x_i) x_i]}{\sum_{i=0}^{i=N} Q_i(x_i)}}{M} - 2 + \Delta_{gx}; \quad Y_{g1ЦЭ} = \frac{\sum_{j=0}^{j=N} \frac{\sum_{i=0}^{i=M} [Q_i(y_i) y_i]}{\sum_{i=0}^{i=M} Q_i(y_i)}}{N} - 2,$$

где  $\Delta_{gx}$  – горизонтальная координатная поправка для первого зеленого канала, при этом  $\Delta_{gx} = P_{gx}/2$ .

Для второго, зеленого канала используются только четные строки. Тогда оценки координат центра изображения  $X_{g2ЦЭ}$  и  $Y_{g2ЦЭ}$  для второго канала вычисляются по формулам

$$X_{g2ЦЭ} = \frac{\sum_{j=0}^{j=M} \frac{\sum_{i=0}^{i=N} [Q_i(x_i) x_i]}{\sum_{i=0}^{i=N} Q_i(x_i)}}{M} - 2; \quad Y_{g2ЦЭ} = \frac{\sum_{j=0}^{j=N} \frac{\sum_{i=0}^{i=M} [Q_i(y_i) y_i]}{\sum_{i=0}^{i=M} Q_i(y_i)}}{N} - 2 + \Delta_{gy},$$

где  $\Delta_{gy}$  – горизонтальная координатная поправка для первого зеленого канала, при этом  $\Delta_{gy} = P_{gy}/2$ .

Тогда суммарное значение оценки координат центра изображения в зеленом канале может быть вычислено как среднее арифметическое оценок двух отдельных зеленых каналов:

$$X_{gЦЭ} = \frac{X_{g1ЦЭ} + X_{g2ЦЭ}}{2}; \quad Y_{gЦЭ} = \frac{Y_{g1ЦЭ} + Y_{g2ЦЭ}}{2}.$$

Анализируя оценки координат изображения белой (RGB) реперной метки в трех спектральных диапазонах, можно при контроле пространственного положения метки синхронно определять и характеристики воздушного тракта (например, градиент температуры). В этом случае с помощью цветной видеокамеры, используя дисперсионный метод [4], можно ослаблять вредное воздействие воздушного тракта на процесс измерений пространственного положения реперной метки.

Для оценки практических возможностей рассматриваемого метода проводилось физическое моделирование процесса измерения пространственного положения реперной метки на специальном стенде.

### Описание физической модели для оценки реализуемости спектрозонального метода

В физической модели РОЭС, основанной на спектрозональном методе, излучение от белой РМ проходит через объектив и попадает на матричное фотоприемное устройство, сообщаемое с персональным компьютером при помощи блока интерфейса камеры. Через блок интерфейса камера может получать команды от персонального компьютера, такие как разрешение передаваемого видеосигнала, контрастность или способ получения видеoinформации. В физической модели РОЭС использовалась камера VEC-545 (матрица КМОП OV5620 формата 1/2,5" с размером пикселя 2,2×2,2 мкм, объектив «Юпитер-9»). В качестве РМ использован белый ПИД FYL3914WC RGB, создающий оптическое излучение в трех спектральных диапазонах ( $\lambda_{max} = 470, 525$  и  $625$  нм) и питающийся от блока.

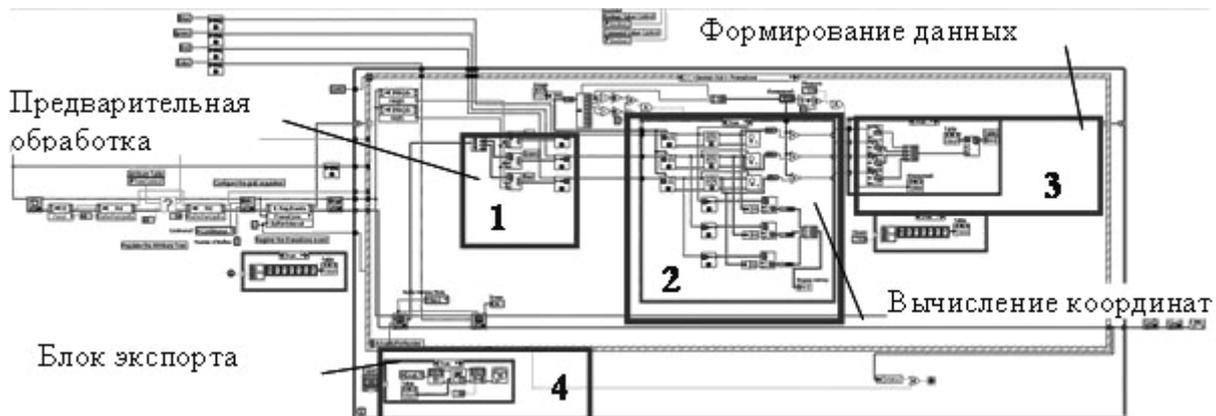


Рис. 2. Элемент блок-диаграммы цикла программы в среде LabView

Для управления физической моделью РОЭС разработана специальная компьютерная программа в среде разработки LabView. Сигнал, поступающий от цифровой фотоприемной камеры испытуемого канала или системы, передается на блок предварительной обработки 1 (рис. 2), где сначала из поступившего электрического сигнала цифрового изображения выбирается необходимый цветовой канал, а затем из

сформированного изображения выбирается интересующая область (или области). Далее отфильтрованное изображение попадает в блок вычисления координат РМ 2. После проведения измерения результат записывается в таблицу результатов, которая может быть экспортирована в формат Excel при помощи блока экспорта 3. Измерения могут производиться одновременно в трех цветовых каналах и нескольких областях изображения.

**Экспериментальные исследования характеристик определения координат изображений РМ**

Целью экспериментальных исследований являлось доказательство возможности реализации спектрозонального метода в РОЭС с помощью серийно выпускаемой камеры, каналы которой соответствуют трем основным цветам системы RGB. В качестве доказательств реализуемости метода использовались оценки систематической и случайной составляющих погрешностей измерения координат, по которым можно также судить и о качестве оценок среднеквадратического отклонения и оценок координат при многократных измерениях.

Для каждого из цветовых каналов камеры было проведено по три серии измерений координат изображений, в каждой из которых было проделано по 1000 измерений. Результаты записывались синхронно во всех каналах, что позволяет вычислить устойчивость показаний в процессе времени при многократных измерениях. В результате было определено положение центра изображения РМ для каждого из каналов. Среднее значение смещения центров РМ в красном и синем канале относительно зеленого (калибровочного) составляет 0,5 пикселя, что подтверждает теоретические выкладки. При этом стоит отметить, что величина среднеквадратической погрешности не превышала 0,02 пикселя.

В ходе эксперимента было определено, что при отсутствии температурного градиента разница в смещении энергетических центров изображения в различных цветовых каналах не превышает 0,04 пикселя, и при перемещении реперной марки ее изображение перемещается на одинаковую величину во всех цветовых каналах. При исследованиях влияния температурного градиента тракта на точность определения координат РМ было выявлено, что СКО определения центра изображения во всех каналах в вертикальном направлении возросло до 1,5 пикселя, в то время как в горизонтальном – до 0,6 пикселей. При этом показано, что наибольшая чувствительность к температурному градиенту обладает пара зеленый-красный канал (таблица).

	Синий-красный	Синий-зеленый	Зеленый-красный
При локальном градиенте температуры до 0,01°/м	0,230	0,112	0,342
В нормальных лабораторных условиях	0,135	0,007	0,128

Таблица. Средняя величина разности координат центров изображений РМ в различных цветовых каналах (все значения в таблице приведены в пикселях)

**Заключение**

Предложены алгоритмы пересчета оценки координат изображений активных РМ при спектрозональных измерениях к единому матричному полю анализа МФП.

На реализованной установке доказана возможность обеспечивать оценку СКО результата измерения положения изображения РМ не более 0,04 пикселя на выпускаемых серийно видеокамерах ВЕС-545 синхронно в трех спектральных диапазонах.

Экспериментальные исследования показали, что предложенный способ спектрозональных измерений координат активных РМ в поле зрения единого цветного МФП позволяет регистрировать воздействие градиента температур воздушного на процесс контроля РОЭС.

На основе полученных результатов целесообразно провести развитие методов спектрозональной селекции и адаптивных алгоритмов с целью ослабления влияния атмосферной трассы (дисперсии и турбулентности) и перекрестных связей между каналами.

Работа проводилась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по государственному контракту № П1112 от 26 августа 2009 г.

**Литература**

1. Богатинский Е.М., Коротаев В.В., Мараев А.А., Тимофеев А.Н. Исследование путей ослабления влияния воздушного тракта в распределенных оптико-электронных системах предупреждения техногенных катастроф // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3(67). – С. 130.
2. Соломатин В.А., Якушенков Ю.Г. Сравнение некоторых способов определения координат изображений, осуществляемых с помощью многоэлементных приемников излучения // Изв. вузов. Приборостроение. – 1986. – № 9. – С. 62–69.