

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

– предложенная в докладе структура оптоволоконного датчика может найти применение для контроля биения валов в мощных гидрогенераторах при воздействии сильных электромагнитных полей;

– для предложенной структуры датчика целесообразно определить порог чувствительности и разрешающую способность в зависимости от частоты модуляции зондирующего излучения; проанализировать основные погрешности, возникающие в структуре датчика, с целью реализации способов их компенсации.

1. Левицкий А.С., Федоренко Г.М., Грубой О.П. Контроль состояния мощных гидро- и турбогенераторов с помощью емкостных измерителей параметров механических дефектов. – Киев: ИЭД НАН Украины, 2011. – 242 с.
2. Eddy Current Displacement Transducer Specifications PR 6423. Application note
3. VibraWatch. Vibration Monitoring System. Application note
4. On-line Monitoring of Hydro Generating Units for Optimized Operation and Maintenance. Application note.
5. Зайцев Е. А. Самокорректирующиеся электронные преобразователи для лазерных измерителей перемещений и вибраций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.05 / Зайцев Е. А.; Нац. акад. наук Украины, ИЭД. – Киев, 2011. – 165 с.
6. Michalzik R., Ebeling K. J. Operating principles of VCSELs // Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser Devices. – Springer Berlin Heidelberg, 2003. – С. 53-98.
7. Зайцев Е.А. Исследование погрешности установки частоты синтезаторов частотно-фазовых систем с использованием LABVIEW// Технічна електродинаміка. -2014.- №2. - с. 84-88.

УДК 621.792.4

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ОБЪЕМНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Зайцева Е.Г., Кислюк А.А., Ларионова Т.О.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

В настоящее время в связи с расширившимися возможностями в области записи и воспроизведения объемного изображения возросла и потребность в использовании такого вида информации в научной и технической сферах. В данном случае с точки зрения высокой точности представления информации очевидны высокие требования к качеству изображения.

Обзор и оценка известных методов подробно рассмотрены в [1, 2]. Из них наиболее точным является голографический метод, но в силу определенных технических и эргономических проблем его использование в настоящее время ограничено. Стереоскопические системы независимо от способа технической реализации при наблюдении с близких расстояний неблагоприятно влияют на нервную систему, вызывая повышенную утомляемость. Поэтому представляет интерес применение метода, называемого «интегральная фотография», но на основе цифровых, а не аналоговых преобразователей «свет-сигнал» и «сигнал-свет».

Результаты теоретического и экспериментального исследований традиционного метода интегральной фотографии с использованием аналогового преобразователя (фотопластинки) рассмотрены в [3]. Замена фотопластинки на цифровые преобразователи в виде светочувствительной матрицы и дисплея, состоящих из отдельных элементов, привела к возникновению двух дополнительных процессов дискретизации (при съемке и воспроизведении), что создало возможность появления новых видов искажений.

Источникам искажений, не связанных с дискретной структурой преобразователя, является отсутствие ограничения поля зрения линзовых элементов. В [4] были обоснованы требования к количеству ракурсов воспроизводимого объекта при использовании интегрального метода на основании условия отсутствия искажений изображения при использовании линзовых элементов без ограничения их поля зрения. При этом допускалось, что точка А (см. рис. 1), чье изображение формируется (назовем ее центральной), располагалась на перпендикуляре к оси матрицы, проходящем через центр пересечения осей симметрии преобразователя. Назовем этот центр центром матрицы. В этом случае формула для расчета максимального количества ракурсов  $n_{\max}$  в заданном направлении имела вид

$$n_{\max} = \frac{z-F}{F} + 1$$

для четного числа кадров на матрице и

$$n_{\max} = \frac{z-F}{F},$$

где  $z$  – расстояние от точки А до плоскости линзовой матрицы,  $F$  – фокусное расстояние линзы.

Из этих формул очевидно, что для точек лежащих на оси, проходящей через центр матрицы, максимальное число возможных ракурсов растет с расстоянием между матрицей и объектом и падает с ростом фокусного расстояния линзовых элементов.

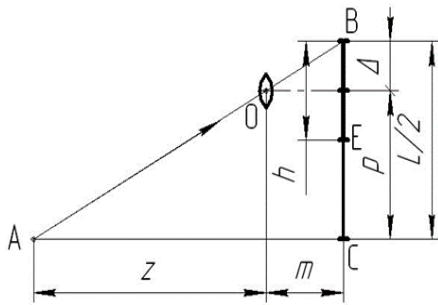


Рисунок 1 – Схема построения изображения центральной точки объекта линзовым элементом матрицы

В общем случае точка A объекта может иметь произвольную координату относительно упомянутого выше центра пересечения (рис. 2). Ось X на рис. 2 направлена по диагонали преобразователя, а точка A имеет на этой диагонали координату  $x_A$  относительно центра O пересечения осей симметрии преобразователя. Очевидно, что максимальное количество ракурсов в этом случае будет зависеть не только от координаты  $Z_A$ , и фокусного расстояния линз растра, но от  $x_A$ .

Исходная формула для расчета максимального числа ракурсов может быть получена из подобия треугольников на рис. 2:

$$\frac{\Delta_i}{m} = \frac{-x_A + p_i}{-z_A}$$

где  $p_i$  – расстояние между центром матрицы и изображением точки, построенным  $i$ -той линзой. прочие обозначения приведены в соответствии с рис. 2.

Чтобы исключить возможность искажений за счет попадания изображения, построенного одной линзой, в поле зрения другой линзы, необходимо соблюдать условие

$$\Delta_{max} = \frac{t}{2},$$

$t$  – шаг матрицы и линзового растра по диагонали,  $\Delta_{max}$  – максимально допустимое расстояние от точки пересечения оптической оси линзы с матрицей до изображения точки, причем это расстояние равно половине поперечного размера линзы в данном направлении.

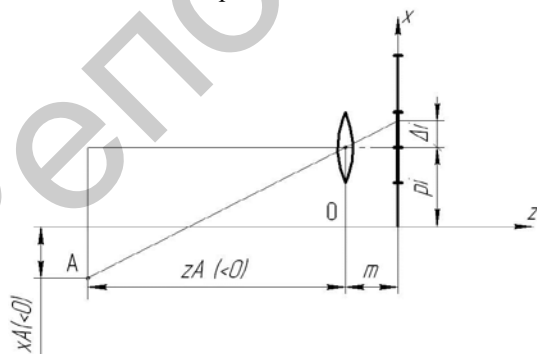


Рисунок 2 – Схема построения изображения произвольной точки объекта линзовым элементом матрицы

Расстояние  $p_i$  между центром матрицы и изображением точки, построенным  $i$ -й линзой, может быть вычислено по формулам:

$$p_i = t * (i - \frac{1}{2}),$$

для четного числа ракурсов и

$$p_i = t * i$$

для нечетного.

Соответственно неравенства для расчета максимального количества ракурсов имеют вид:

$$n_{max} > \frac{2 * x_A}{z_A * t} - \frac{1}{m} + 1$$

для четного числа ракурсов и

$$n_{max} > \frac{2 * x_A}{z_A * t} - \frac{1}{m} - 1$$

для нечетного.

Анализ двух последних неравенств позволяет сделать вывод о взаимосвязи максимального числа ракурсов, воспроизводимых без искажений, с координатами записываемой точки в пространстве и положением расстоянием между линзами и матрицей. Максимальное число ракурсов растет для точек, удаленных от перпендикуляра к центру матрицы и при увеличении расстояния между линзой и матрицей, падает при удалении точки от системы «линзы - матрица». Так как шаг матрицы равен отношению ее диагонали к числу ракурсов, возможно последние неравенства трансформировать в выражения, связывающие максимальное число ракурсов и диагональ матрицы.

Дискретность преобразователей «свет-сигнал» и «сигнал-свет» является возможным источником дополнительных искажений при записи и воспроизведении объемного изображения. Они могут проявляться как прерывистость ракурсов в поперечном направлении при соответствующем относительном смещении изображения и наблюдателя. Кроме того, возможно возникновение «кулиности», т.е. прерывистости изображения в продольном направлении. Третьим проявлением искажений является ложная информация при неправильном сочетании шагов матриц «свет-сигнал» и «сигнал-свет», а также фокусных расстояний соответствующих линзовых элементов.

Установленные при исследовании вышеперечисленных искажений образуют систему неравенств, решение которой позволит установить требования к параметрам систем записи и воспроизведения объемного изображения.

1. Emerging Technologies for 3D Video: Creation, Coding, Transmission and Rendering //Frederic Dufaux, Beatrice Pesquet-Popescu, Marco Cagnazzo. May 2013.- 518 p. – Mode of access: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118355113.html> - Date of access: 04.09.2016.
2. Three-Dimensional Imaging, Visualization, and Display Editors: Javidi, Bahram, Okano, Fumio, Son,

- Jung-Young (Eds.) – Mode of access: <https://www.springer.com/us/book/9780387793344> – Date of acces: 04.09.2016.
3. Дудников. Ю.А. Растровые системы для получения объемных изображений / Ю.А.Дудников, Б.К.Рожков. – Л.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
4. Зайцева, Е.Г., Кислю, А.А. Определение количества ракурсов при записи и воспроизведении объемного изображения // 9-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение–2016». – Минск: БНТУ, 2016. – 60–61

УДК 621.375.826

## ВЛИЯНИЕ ДИСТОРЦИИ ОБЪЕКТИВОВ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТЕРЕОИЗОБРАЖЕНИЯ

Козлов В. Л., Шмигирев Е. Ф.

Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

Одним из основных источников измерительных ошибок при восстановлении дальности по анализу цифрового изображения являются искажения, вызванные оптической системой стереокамеры, главным образом дисторсией. Дисторсия – это aberrация оптических систем, при которой коэффициент линейного увеличения изменяется по полю зрения объектива. При этом нарушается геометрическое подобие между объектом и его изображением. Оптические искажения, вносимые линзой на фотоприемную матрицу, подразделяются на два вида: радиальные и тангенциальные. Радиальные искажения возникают из-за того, что физическая линза имеет неправильную форму. Например, в некоторых камерах используют не параболические, а сферические линзы, которые проще в изготовлении. В результате возникают искажения изображения, усиливающиеся от центра к краям. Тангенциальные искажения возникают из-за того, что линза в камере расположена не параллельно плоскости матрицы [1].

Наиболее распространенным способом компенсации дисторсии камеры является предварительная калибровка с использованием специального калибровочного объекта, помещаемого в поле зрения камеры [2]. В качестве калибровочного объекта может выступать как периодическая структура, так и случайная текстура с определенными статистическими свойствами. Также находят свое применение и методы, не требующие специального калибровочного объекта, но использующие несколько зарегистрированных изображений одной и той же сцены. Такие методы опираются на априорную информацию о геометрии сцены и решают задачу калибровки с учетом ограничений эпиполярной геометрии [3]. Однако в литературных источниках не приводятся результаты исследований по анализу влияния дисторсии на точность измерения расстояний по стереоизображению, а также не разработаны методики учета и компенсации влияния этого параметра на точность измерений.

Для анализа оптических искажений объективов фотокамер было разработано программное приложение, позволяющее наглядно показать характер искажений и определить коэффициенты полинома, компенсирующего оптические искажения. Были проведены экспериментальные исследования оптических искажений следующих объективов и фотокамер:

- Canon EOS 1100D (с объективом EFS 18-55);
- Nikon D3200 (с объективами AF-SDX NIKKOR 18-55; AF-S NIKKOR 18-105; TAMRON AF 70-300);
- Canon PowerShot A550;
- Fujifilm FinePix Real 3D W3.

Выбор в качестве объекта исследования серийно выпускаемой 3D-фотокамеры Fujifilm FinePix Real 3D обусловлен тем, что она используется в качестве компактного решения аппаратной части дальномера на основе корреляционного анализа цифровых изображений [4]. На рисунках приведены результаты измерения оптических искажений объективов фотокамер Canon EOS 1100D и Fujifilm FinePix Real 3D. В горизонтальной плоскости по осям  $OX$  и  $OY$  приведены координаты точки на фотоприемной матрице, а по вертикальной оси приведена величина оптических искажений в пикселях для данной точки по оси  $OX$ .

Экспериментальные исследования показали, что оптические искажения исследуемых объективов Canon и Nikon можно успешно аппроксимировать известными формулами [1-3]. Скорректированные точки для радиальных искажений можно получить с помощью следующих выражений:

$$x_{corrected} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6),$$

$$y_{corrected} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6),$$

где  $(x, y)$  – координаты точки исходного изображения,  $r$  – удаленность точки от оптического центра линзы.