

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.

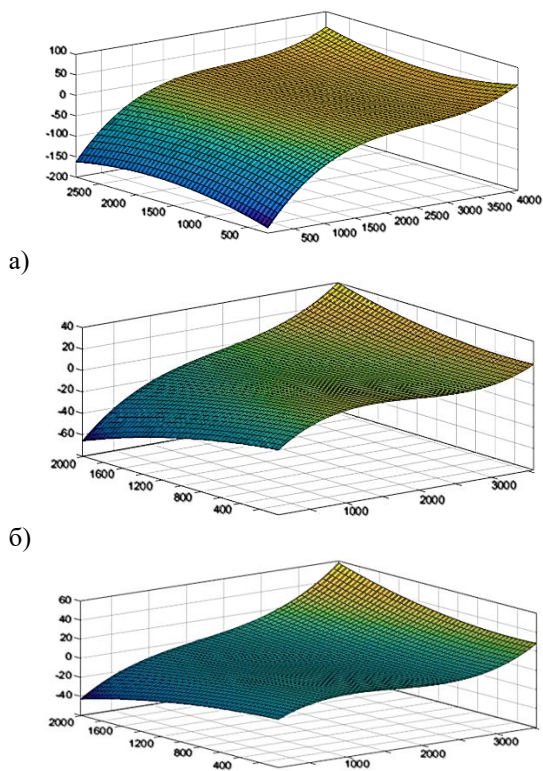
Выбор в качестве объекта исследования серийно выпускаемой 3D-фотокамеры Fujifilm FinePix Real 3D обусловлен тем, что она используется в качестве компактного решения аппаратной части дальномера на основе корреляционного анализа цифровых изображений [4]. На рисунках приведены результаты измерения оптических 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.



в) X-компоненты искажений для объектива Canon EOS 1100D EFS 18-55 (а), правого (б) и левого (с) объективов Fujifilm FinePix Real 3D

Тангенциальные искажения определяются двумя параметрами  $p_1$  и  $p_2$ :

$$x_{corrected} = x + 2p_1y + p_2(r^2 + 2x^2),$$

$$y_{corrected} = y + p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2x.$$

Таким образом, общая модель искажения характеризуется пятью параметрами, которые составляют вектор искажения  $(k_1, k_2, k_3, p_1, p_2)$ . Остальные искажения, возникающие в оптической системе, вносят значительно меньший вклад и их можно не учитывать.

Однако, как показали результаты проведенных исследований для фотоаппарата Fujifilm Fine Pix Real 3D использование приведенных формул для компенсации дисторсии не обеспечивает требуемую точность при измерении расстояний, поэтому для компенсации дисторсии были проведены дополнительные исследования. Для используемой фотокамеры Fujifilm FinePix Real 3D W3 дисторсия цифрового изображения неодинакова для объективов стереокамеры и достигает величины  $\pm 20-35$  пикселей на краях фотоприемной матрицы. Различие в значениях оптических искажений для двух объективов обусловлены неодинаковым наклоном фотоприемной матрицы к оптической оси объектива. Из полученных экспериментальных данных следует, что для аппроксимации оптических искажений объективов Fujifilm FinePix Real 3D W3 достаточно полинома третьей степени. Взаимный наклон плоскостей фотоприемных матриц и

оптические аберрации приемных линз можно компенсировать с помощью экспериментально определенных полиномов, которые для первого  $P'$  и второго  $P''$  объективов стереокамеры Fujifilm FinePix Real 3D имеют вид

$$P' = -12,1738 + 3,90 \cdot 10^{-2} \cdot x - 2,68 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 5,37 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 -$$

$$- 5,07 \cdot 10^{-3} \cdot y - 5,68 \cdot 10^{-6} \cdot y^2 + 2,59 \cdot 10^{-10} \cdot y^3 +$$

$$+ 5,85 \cdot 10^{-7} \cdot xy - 1,51 \cdot 10^{-10} \cdot x^2y + 4,49 \cdot 10^{-9} \cdot xy^2,$$

$$P'' = -22,3481 + 5,38 \cdot 10^{-2} \cdot x - 3,00 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 5,07 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 -$$

$$- 1,02 \cdot 10^{-2} \cdot y - 6,36 \cdot 10^{-6} \cdot y^2 - 1,96 \cdot 10^{-10} \cdot y^3 +$$

$$+ 5,51 \cdot 10^{-6} \cdot xy - 1,83 \cdot 10^{-11} \cdot x^2y + 4,04 \cdot 10^{-9} \cdot xy^2.$$

Значениями коэффициентов полинома порядка  $10^{-10}$  нельзя пренебрегать, так как они находятся при переменных в третьей степени, а величины  $x$  и  $y$  могут иметь значение  $\sim (3 \div 4) \cdot 10^3$ .

В расчетные формулы для измерения дальности [4] входят фокус оптической системы  $f$ , база съёмки  $L$  и размер пикселя  $\omega_x$ , которые можно объединить в аппаратную константу  $K$ :

$$K = \frac{f \cdot L}{\omega_x}.$$

Знать точное значение расстояния между чувствительными элементами фотоприемной матрицы  $\omega_x$ , значение фокуса объектива  $f$  и базы съёмки  $L$  нет необходимости, так как значение аппаратной константы измерительной системы  $K$  можно определить при калибровке системы по объектам, находящимся на известных расстояниях.

Таким образом, с учетом компенсации оптических искажений первого и второго объективов стереокамеры выражение для расчета дальности до объекта по стереоизображению имеет вид

$$Z = \frac{K \cos\left(\arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}\right)}{\Delta x - \Delta X + P' - P''},$$

где  $K$  – аппаратная константа измерительной системы;  $\Delta x$  – сдвиг между изображениями объекта по горизонтальной оси;  $\Delta y$  – сдвиг между изображениями объекта по вертикальной оси;  $\Delta X$  – сдвиг по оси  $x$  за счет непараллельности оптических осей объективов;  $P', P''$  – полиномы, компенсирующие искажения объективов стереокамеры.

Необходимо отметить, что для повышения точности измерения расстояний определяющим фактором является не абсолютное значение дисторсии объективов, а разность вносимых оптических искажений объективов стереокамеры в зависимости от разности координат измеряемого объекта на фотоприемных матрицах. Экспериментальные исследования разработанной методики учета и компенсации влияния искажений на точность измерений дальномера на основе корреляционного анализа стереоизображения показали уменьшение абсолютной погрешности измерений более чем на порядок при измерениях на расстояниях до 100 м.

1. Alemán-Flores, M. Automatic Lens Distortion Correction Using One-Parameter Division Models / M. Alemán-Flores, L. Alvarez, L. Gomez, D. Santana-Cedres // Image Processing On Line. - 2014. - Vol. 4. - P. 327-343. - DOI: 10.1007/s10851-012-0342-2.
2. Бугаенко, Е. И. Способ автоматического определения и коррекции радиальной дисторсии на цифровых изображениях / Е. И. Бугаенко, М. И. Труфанов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2008. – Т. 51, № 2. – С. 16–22.
3. Zhang, Z. Camera calibration with lens distortion from low-rank textures / Z. Zhang, Y. Matsushita, Y. Ma // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE Conference. - 2011. - P. 2321-2328.
4. Способ измерения расстояний на цифровой фотокамере: патент 2485443 Российская Федерация / В. Л. Козлов. – 2013. – Бюл. № 17.

УДК 621.375.

## АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ОТТИСКОВ ПЕЧАТЕЙ И ШТАМПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Козлов В. Л., Згировская Н. В.

*Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь*

Одной из важных задач криминалистической экспертизы является изучение цвето-тоновых параметров и анализ дефектов цифровых моделей изображений оттисков печатей и штампов (ОПШ). Известные методики сравнительного исследования оттисков печатей, которые проводятся на основе сопоставления и наложения [1] и корреляционного анализа [2] не позволяют получить количественные данные о степени старения оттиска печати и о координатах дефекта любого фрагмента печати. Важной задачей также является преобразование полученных цифровых данных в криминалистически значимую информацию, что возможно только путем использования специализированного ПО, алгоритмы работы которого позволяют осуществлять необходимый подсчет и интерпретацию соответствующих параметров изображения.

Применение корреляционной обработки оптических изображений является одним из направлений повышения качества цифровой обработки оттисков удостоверительных печатных форм [2]. Для расширения функциональных возможностей, повышения качества и достоверности исследований цвето-тоновых параметров оттисков печатей и штампов, а также для получения информации о степени старения оттиска печати и дефектах отдельных фрагментов была разработана соответствующая компьютерная система на основе применения методов корреляционного анализа. Предлагаемый процесс цифровой обработки ОПШ предусматривает: фиксацию изображения путем сканирования (регистрация изображения); применение алгоритмов обработки, предусмотренных используемым ПО (преобразование изображения); сохранение данных с последующей экспертной интерпретацией результатов (анализ данных изображения).

Сканирование как способ регистрации изображений позволяет получать цифровые

модели ОПШ, максимально соответствующие реальной действительности по своим геометрическим, топографическим и колористическим характеристикам. Формат хранения изображений может быть различным (JPEG, TIFF, PXC, PNG, BMP и др.). Одним из наиболее корректных форматов, применяемых при регистрации изображений ОПШ является несжатый растровый графический формат TIFF. Проведенные экспериментальные исследования показали, что значение корреляционной функции для новой печати в формате JPEG составляет порядка 0,998, а для формата TIFF – 0,99993. Это свидетельствует о том, что для проведения экспертных исследований целесообразно использовать документы в формате TIFF, т.к. он дает более высокую точность вычисления корреляционной функции, и, следовательно, большую эффективность проведения исследований по сравнению с JPEG форматом.

Этап преобразования изображений можно условно разделить на две стадии: предварительную, которая заключается в приведении сравниваемых изображений в соответствие определенным критериям для проведения дальнейшего исследования, и основную, предусматривающую корреляционный анализ изображений. Предварительная обработка может быть осуществлена путем использования различного рода универсального ПО («Adobe Photoshop», «CorelDRAW», «Microsoft Paint» и т.п.). Однако анализ специальной литературы показал, что наиболее распространенным графическим редактором, применяемым при технико-криминалистических исследованиях является программный продукт «Adobe Photoshop». При этом использование возможностей данного программного средства сводится к минимальному набору функций, что обусловлено необходимостью максимально сохранить все первоначальные параметры изображения без каких-либо искажений.