

(т.е. увеличении напуска азота в вакуумную камеру в процессе осаждения) количество азота в сформированном покрытии растёт.

Результаты измерения твердости показали, что H существенно зависит от степени реактивности и наибольшее значение H имеет покрытие, сформированное при степени реактивности $\alpha = 0,60$.

Выводы

Результаты исследования показали, что метод контролируемого реактивного магнетронного распыления позволяет получать качественные бескислородные наноструктурированные TiAlN покрытия с высоким значением твердости.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлено, что элементный состав покрытий, формируемых с использованием одноканального алгоритма управления процессом реактивного магнетронного распы-

ления, определяется заданным с помощью прибора управления значением степени реактивности.

1. Spencer, A.G. Pressure stability in reactive magnetron sputtering / A.G. Spencer, R.P. Howson, R.W. Lewin // Thin Solid Films. – 1988. – Vol. 158. – P. 141–149.
2. Бурмаков, А.П. Спектроскопическая система контроля расхода газов и содержания примесей в процессе магнетронного осаждения пленок / А.П. Бурмаков, В.Н. Кулешов // ЖПС. – 2007. – Т. 74, № 3. – С. 412 – 416.
3. Комаров, Ф.Ф. Контролируемое нанесение Ti-Al-N покрытий методом реактивного магнетронного распыления / Ф.Ф. Комаров [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2014. – Т. 58, № 5. – С. 40–43.

УДК 535.015, 535.422

МЕТОДЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

Кожевников Д.А., Фёдорцев Р.В., Старосотников Н.О.

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь*

Дисторсия является основной аберрацией, которая влияет на качество изображения при работе фотографических систем, предназначенных для дистанционного зондирования Земли. В связи со значительными ошибками (такими как: бочкообразная и подушкообразная геометрия изображения), возникающими в оптических системах (ОС) при данной аберрации, исправление объективов на дисторсию является важной задачей в современном оптическом приборостроении. Геометрическая калибровка съёмочных аэрофотографических оптических систем предусматривает определение фотограмметрических параметров, подвергаемых калибровке опτικο-электронных приборов (ОЭП). Знание указанных параметров необходимо для осуществления географической координатной привязки получаемых изображений к рельефу обрабатываемого участка, а также приведения их к общему масштабу и совмещению изображений.

При определении величины дисторсии часто определяют суммарные её расчётные значения и погрешности, связанные с различными способами изготовления и сборки деталей объектива, погрешностями установки объектива при контроле дисторсии, погрешностями измерений и т. п.

Общей схемой геометрической калибровки ОЭП (рисунок 1) является проецирование на фотоприёмник (ФП) векторов с известной пространственной ориентацией. По их изображениям на ФП, ФП регистрирует их

пространственное положение в системе координат ОЭП. Таким образом в данной схеме периодическая структура ФП ОЭА будет являться измерительной шкалой. Невязки спроецированных векторов и их изображений будут определять дисторсию ОЭП.

Главным различием методов геометрической калибровки можно назвать способ формирования векторов с известной пространственной ориентацией.

Известны способы калибровки аэрофотографической системы на основе **снимков звёзд**. Преимущества этого метода заключается в простоте реализации, в отсутствии необходимости использования дополнительного оборудования, кроме точных часов. Основным недостатком данного метода является то, обстоятельство что условия калибровки отличаются от реальной съёмки [2], а также зависимость от метеорологической обстановки. Более эффективным является метод калибровки оптической системы по снимкам специального тестового объекта или полигона. Принцип геометрической калибровки может основываться на обработке получаемых оптической системой изображений тестовых элементов с изначально известными с высокой точностью координатами [3]. Главным различием методов геометрической калибровки можно назвать способ формирования опорных направлений, которые предъявляются оптической системе в процессе калибровки.

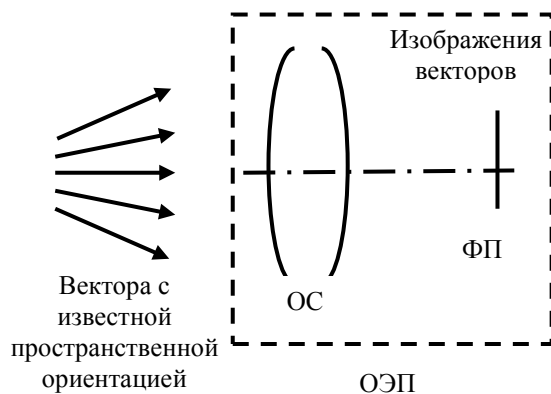


Рисунок 1. Общая схема геометрической калибровки ОЭП

В настоящее время при калибровке ОС чаще всего используются **коллимационные схемы**. В ходе измерения с использованием этих схем подлежащая калибровке фотографическая система регистрирует изображение бесконечно удаленного точечного источника излучения или удаленного тестового объекта [4].

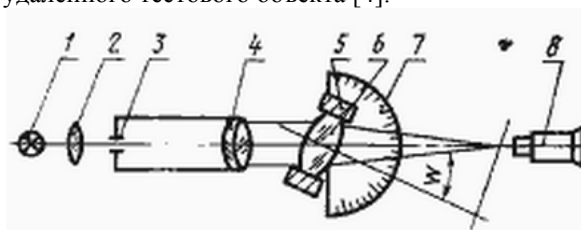


Рисунок 2. Схема измерения дисторсии:
1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – раздвижная щель; 4 – коллиматор; 5 – объективодержатель; 6 – испытуемый объектив; 7 – шкала отсчета угловых перемещений объектива; 8 – автоколлиматор

Точное измерение направления осуществляется установкой коллиматора или подлежащей калибровке камеры на прецизионном поворотном устройстве (рисунок 2). Также имеет место установка множества удаленных тестовых объектов, направления на которые измеряются при помощи теодолита [5]. Повышение точности измерений в данном случае производится усовершенствованием конструкции и схем коллиматоров, использованием в роли тест-объекта матрицы с известными расстояниями между элементами тест-объекта (рисунок 3).

Также решение задачи калибровки оптических систем достигается путем вывода новых математических зависимостей и алгоритмов. В работе [6] использовались полиномы Цернике для разделения направлений децентрировки, на последующем этапе, с учетом порядка разложения, формируются наборы косинусных и синусных полиномов, которые позволяют отдельно оценить наличие ошибок сборки и изготовления

оптической системы. Помимо этого, известны работы, в которых описывается аналитический метод **самокалибровки** [2]. Сущность метода состоит в том, что одновременно определяются поправки к приближенным элементам внутреннего ориентирования и суммарные поправки к координатам точек для компенсации влияния всех источников систематических ошибок.

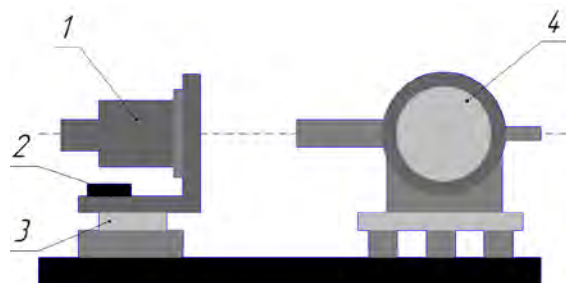


Рисунок 3. Схема геометрической калибровки:
1 – испытуемая система с ПЗС ФП; 2 – накладной уровень; 3 – прецизионное поворотное устройство; 4 – автоколлимационный теодолит

Алгоритм определение положения линий на изображении теста происходит с учетом следующих формул и выражений:

Расчет яркостного изображения строки теста из его многоспектрального изображения:

$$S_Y(x) = \sum_{r=0}^{nRad-1} S_r(x), \quad (1)$$

где $S_r(x)$ – спектральные компоненты, $nRad$ – количество спектральных компонентов.

Применение к яркостному изображению согласованного фильтра с формой $K(x)$ импульса вертикальной полосы:

$$S_{YF}(\tau) = \sum_x S_Y(x)K(x - \tau). \quad (2)$$

Определение положения экстремумов фильтрованного сигнала изображения, соответствующие вертикальным линиям теста:

$$XM = \max_{\tau} S_{YF}(\tau). \quad (3)$$

Оценка кривой дисторсии происходит по следующим положениям:

Расчет графика дисторсии, как разности между положениями вертикальных линий, отстоящих между собой на расстоянии y :

$$y'(i) = XM_{i+y} - XM_i, \quad (4)$$

где y' – размер изображения, y – расстояние между линиями на тесте (рисунок 4).

Значение $y'(i)$ присваивается линии $Coord(i)$, соответствующей центру интервала:

$$y'(i) = XM_{i+y} - XM_i \quad (5)$$

$$Coord(i) = XM_i + y/2 \quad (6)$$

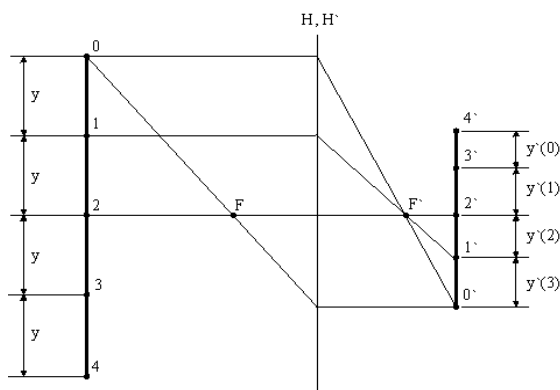


Рисунок 4. Плоскости объектов и изображений оптической системы

1. ГОСТ 20825-75. Объективы съемочные. Методы измерений дисторсии. – Введ. 01.07.1976. – М.: Издательство – стандартов. 12с.
2. Курков, В.М. Методы учёта систематических искажения аэроснимка. Самокалибровка / В.М. Курков // Изв. вузов.

- Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1980. – № 6. – С. 75-79.
3. Cramer M. EUROSDR network on digital camera calibration // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, Vol.35, Part B6, Istanbul, P.204-209.
 4. Schuster R., Braunecker B. Calibration of the ADS40 airborne digital sensor // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, Vol.33, Part B1, Amsterdam, P.288-294.
 5. Alharthy A., Bethel J. Laboratory self-calibration of a multi-band sensor // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001, Vol.34, Part 3A, Graz, Austria, P.23-28.
 6. Ежова, К.В. Математическое моделирование фотограмметрической дисторсии / К.В. Ежова // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2006. – Вып. 26. – С. 235-239.

УДК 512.624.95:378.147.091.3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВВЕДЕНИЯ БАЗОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ХТР

Крупенкова Т.Г.¹, Липницкий В.А.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Военная академия Республики Беларусь

Минск, Республика Беларусь

Рассматриваемая криптографическая система, а также описываемый в данной работе подход в применении к криптографическим протоколам были впервые предложены в 2000 году на ежегодной международной научной конференции «Сгурто-2000» авторами – Ленстрой А.К. и Верхейлом Э.Р. [1].

Название ХТР явилось удачной аббревиатурой английского словосочетания «Efficient and Compact Subgroup Trace Representation».

Становящиеся классическими система обмена ключами Диффи-Хелмана, криптографические системы RSA и Эль Гамала и созданные на их основе системы цифровой подписи, базируются на арифметике колец классов вычетов Z/nZ , где n либо является простым числом, либо произведением двух простых чисел. ХТР-криптография основывается на конечных полях, а точнее, на взаимоотношениях в башне расширений конечных полей

$$GF(p) \subset GF(p^2) \subset GF(p^6)$$

и вычислениях в полях $GF(p^2)$ с большими простыми числами p .

Современный немецкий математик и криптограф Шнорр К.П. в 1991 году предложил использовать в криптосистеме Эль Гамала следующую оригинальную идею – заменять образующие g мультипликативных групп $GF(p)^*$ полей $GF(p) = Z/pZ$ на образующие подгрупп максимально высокого простого порядка q этих мультипликативных групп [2].

Такой подход приводит практически к пятикратному уменьшению размеров применяемых ключей, отнюдь не снижая при этом вязкости вычислений и криптостойкости систем.

Идея Шнорра К. П. находит широкое применение и в ХТР-криптографии. Здесь q – достаточно большой (максимально большой) простой делитель порядка $p^2 - p + 1$ подгруппы мультипликативной группы $GF(p^6)^*$.

Пусть p – нечетное простое число, сравнимое с 2 по модулю 3: $p \equiv 2 \pmod{3}$. Тогда поле