

Компенсация сдвига изображения пьезоэлектрическим актюатором

© В.И. Заварзин, Г.А. Патин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрена возможность применения пьезоактюатора в виде компенсатора сдвига изображения при фотографировании с быстродвижущихся объектов. Приведены примеры классических методов компенсации сдвига изображения. Для летательного аппарата с заданными характеристиками представлен расчет компенсатора на пьезоэлектрическом эффекте. Проанализированы некоторые модели пьезоактюаторов, которые можно применять для создания компенсатора сдвига изображения. Полученные результаты исследований подтвердили возможность использования данного компенсатора для создания цифровых аэрофотоаппаратов с большим полем зрения.

Ключевые слова: компенсатор сдвига изображения, пьезоактюатор, быстродвижущийся объект, аэрофотокамера.

Материалы воздушного фотографирования находят свое применение в разных областях деятельности, таких как создание карт местности при строительстве различных сооружений, морской съемке, лесоустройстве, геологических изысканиях, ледовой разведке, археологических работах, прогнозировании погоды и др. Появление современной элементной базы, новых способов регистрации изображения приводит к тому, что фотопленку заменяют матрицами, линейками матриц, CMOS-сенсорами.

Однако даже новые разработки не лишены недостатков. По качеству изображения матрицы уступают пленочным аэрофотоаппаратам: скорость считывания информации с матрицы имеет конечное время, в результате происходит перемещение изображения по плоскости матрицы аэрофотокамеры во время экспонирования, что приводит к смазу изображения. В процессе воздушного фотографирования отмечают три вида сдвигов изображения, влияние которых необходимо учитывать:

- равномерный сдвиг, являющийся следствием поступательного движения носителя;
- сдвиг, вызываемый вибрационными колебаниями носителя или его частей;
- медленное периодическое движение носителя относительно среднего положения в полете.

Относительное влияние этих трех видов сдвигов изображения зависит от скорости и высоты полета летательного аппарата.

Величина сдвига изображения на аэрофотоснимке характеризуется размытостью контуров объектов фотографирования, т. е. наличием более или менее плавного перехода между яркостью объекта и окружающим фоном. Соотношение между сдвигом изображения и его влиянием на разрешающую способность аэрофотоснимка имеет очень сложную зависимость, которую определяют контраст объектов, параметры сенсоров, характеристики оптической системы и др. Несмотря на различное влияние данных сдвигов изображения на результат воздушного фотографирования, необходимо их учитывать; в этой связи изучение сдвигов изображения является актуальным.

Сдвиг изображения — это ухудшение качества изображения в течение выдержки ввиду относительного перемещения и носителя совместно с аэрофотоаппаратом, и изображения фотографируемого участка. На рис. 1 показаны два положения аэрофотоаппарата: в момент открытия (I) и закрытия (II) затвора. Размер отрезка $a'_2 a''_2$ характеризует величину геометрического сдвига изображения, численное значение которого можно найти по формуле

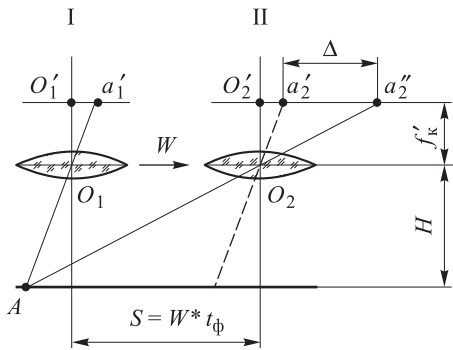


Рис. 1. Схема образования сдвига изображения

$$\Delta = V_{из} t_{\phi}, \quad (1)$$

где t_{ϕ} — время фотографирования (экспонирования); $V_{из}$ — скорость перемещения оптического изображения в фокальной плоскости аэрофотокамеры.

Скорость перемещения оптического изображения равна скорости полета W в масштабе фотографирования:

$$V_{из} = W \frac{f'_{\kappa}}{H}, \quad (2)$$

где f'_{κ} — фокусное расстояние аэрофотокамеры; H — высота съемки.

Тогда

$$\Delta = W \frac{f'_{\kappa}}{H} t_{\phi}. \quad (3)$$

Формулу (3) иногда записывают с учетом приведенного сдвига изображения S :

$$\Delta = \frac{S}{t}, \quad (4)$$

где t — знаменатель масштаба фотографирования.

Проблемы компенсации сдвига изображения для пленочных аэрофотоаппаратов были решены с потерей интенсивности светового потока (оптические методы) или с помощью сложных синхронизирующих механизмов, что, в свою очередь, очень усложняло регулировку и настройку прибора. В цифровых аэрофотоаппаратах использование механических методов компенсации, которые применялись в пленочных аппаратах, не подходит, поэтому остается либо оптическая компенсация, либо выбор какого-то нового подхода [1].

Когда в аэрофотоаппарате с цифровой регистрацией имеет место сдвиг изображения, приходится применять специальные меры для искусственного снижения скорости движения изображения в фокальной плоскости аппарата. Это можно осуществить с помощью специального устройства, работающего по принципу механической компенсации сдвига изображения или оптической компенсации сдвига изображения.

Рассмотрим метод оптической компенсации изображения, основанный на повороте аэрофотоаппарата (рис. 2). При компенсации сдвига изображения оптическим методом необходимо изменять направление световых лучей по определенному закону, соответствующему закону изменения скорости перемещения изображения в фокальной плоскости аэрофотоаппарата. Изменение направления светового пучка может быть достигнуто поворотом фотоаппарата вокруг оси, проходящей через заднюю узловую точку объектива, с помощью поворачивающегося зеркала или вращающихся оптических клиньев, расположенных перед объективом аппарата.

При компенсации сдвига изображения поворотом аэрофотоаппарата его движение осуществляется специальным рычажно-поворотным механизмом с определенной угловой скоростью ω_k (рис. 3). Полный угол поворота аэрофотоаппарата в течение экспозиции

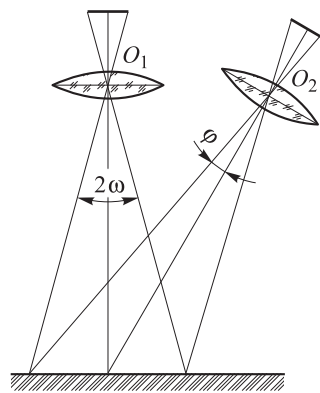


Рис. 2. Схема углового метода компенсации сдвига изображения

$$\varphi'' = \frac{\Delta}{f'_k} \zeta'' = \frac{W}{H} t_\phi \zeta'', \quad (5)$$

где ζ'' — угол поворота изображения.

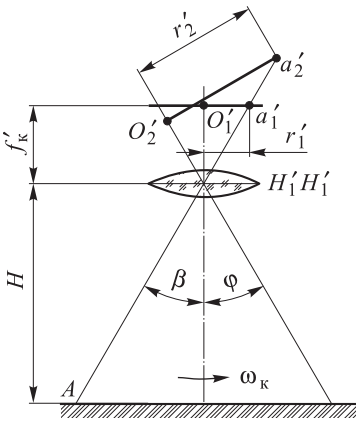
При перемещении аэрофотоаппарата относительно фотографируемого объекта и одновременном повороте фотоаппарата с целью компенсации сдвига изображения скорость перемещения изображения для точки, удаленной от главной точки снимка O'_1 на расстояние r'_1 ,

$$V_{\text{из}\beta} = \frac{dr'_1}{dt} = f'_k (1 + \text{tg}^2 \beta) \omega_k, \quad (6)$$

где β — угол поля изображения;

$$r'_1 = f'_k \text{tg} \beta. \quad (7)$$

Рис. 3. Схема определения параметров углового метода для компенсации сдвига изображения



Как видно из приведенных формул, скорость компенсации при повороте аэрофотоаппарата будет неодинакова для различных точек снимка. Минимальная скорость, а следовательно, и смещение изображения определяются для осевой точки снимка:

$$\Delta_0 = f'_k t_\phi \omega_k; \quad (8)$$

для других точек снимка

$$\Delta_\beta = f'_k (1 + \text{tg}^2 \beta) \omega_k t_\phi. \quad (9)$$

Сравнение формул (8) и (9) позволяет сделать вывод о неравномерности компенсационного сдвига изображения по полю изображения, в результате чего осуществление полной компенсации сдвига изображения оказывается невозможным для всех точек снимка одновременно. При этом способе компенсации относительная методическая ошибка

$$\xi = \frac{\Delta_0 - \Delta_\beta}{\Delta_0} = -\text{tg}^2 \beta. \quad (10)$$

Согласно формуле (10), величина относительной методической ошибки при этом способе компенсации есть функция угла поля изображения, которая зависит от угла поворота аэрофотоаппарата ω_k . Недостатком этого способа компенсации следует считать необходимость достаточно мощного привода для поворота аэрофотоаппарата с высокой точностью за очень короткое время. Этот способ можно применять только в узкоугольных аэрофотоаппаратах [1].

Рассмотрим случай использования пьезоэлектрического актюатора для компенсации сдвига изображения. Схема применения этого метода приведена на рис. 4. Для реализации этой идеи были выбраны несколько моделей пьезоактюаторов, технические характеристики которых приведены в табл. 1. Во всех моделях представленных актюаторов встроены линейный датчик (тип энкодера).

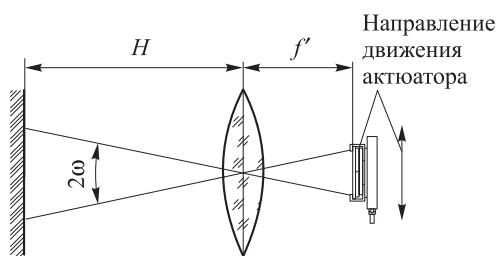


Рис. 4. Схема движения пьезокомпенсатора

Таблица 1

Характеристики актюаторов

Характеристика	Модель актюатора		
	М-664	М-661	N-216.10
Рабочее поле, мм	25	20	20
Разрешение датчика, нм	100	20	$10 \dots 10^3$
Скорость, мм/сек	400	10	1
Максимальная грузоподъемность, Н	25	20	300
Диапазон значений рабочих температур, °С	0...+50	0...+50	-40...+80
Габаритные размеры, мм	90×60×15	70×50×20	100×110×90
Масса, кг	$0,225 \pm 5 \%$	$0,150 \pm 5 \%$	$1,150 \pm 5 \%$

На актюаторе устанавливают CMOS-сенсоры в шахматном порядке таким образом, чтобы для компьютерной сшивки снимков обеспечить перекрытие в 10 и более пикселей.

Пьезоэлектрический эффект (*сокр.* пьезоэффект) наблюдается в анизотропных диэлектриках, преимущественно в кристаллах некоторых веществ, обладающих определенной, достаточно низкой симметрией. Пьезоэффектом могут обладать кристаллы, в которых отсутствует центр симметрии, а наблюдаются так называемые полярные направления (оси). Пьезоэффектом могут также обладать некоторые поликристаллические диэлектрики с упорядоченной структурой (текстурой), например керамические материалы и полимеры. Диэлектрики, обладающие пьезоэффектом, называют пьезоэлектриками. [2].

Исходя из приведенных технических характеристик (см. табл. 1) и физических возможностей сенсоров, можем рассчитать скорость движения изображения в плоскости установки датчиков и сравнить ее со скоростью движения компенсатора, после чего сделаем вывод о

возможности использования таких актюаторов для компенсации сдвига изображения. Скорость полета летательного аппарата, на котором устанавливают аэрофотоаппарат, лежит в диапазоне значений 150...200 м/с.

В качестве примера рассмотрим возможность реализации компенсации сдвига изображения пьезоактюатором для такого носителя, как аэрофотоаппарат, и CMOS-сенсоров, технические характеристики которых представлены ниже:

Высота полета H , м	500
Скорость полета V , м/с	150...200
Максимальное перекрытие P , %.....	20
Минимальное экспонирование H_3 , с	0,002
Фокусное расстояние объектива f' , мм.....	300
Угловое поле объектива 2ω , град	16
Размер пиксела $a \times b$, мкм	14×14

Найдем основное соотношение для аэрофотоаппарата — отношение скорости к высоте:

$$\frac{V}{H} = \frac{200}{500} = 0,4 \text{ с}^{-1}. \quad (11)$$

Скорость движения изображения по поверхности сенсора

$$V_{\text{изобр}} = \frac{V}{H} \frac{f'}{1 - P/100} = \frac{200}{500} \frac{300}{1 - 20/100} = 150 \text{ мм/с}. \quad (12)$$

Сдвиг изображения

$$h_{\text{изобр}} = \frac{V}{H} f' H_3 = \frac{200}{500} \cdot 300 \cdot 0,002 = 0,24 \text{ мм}. \quad (13)$$

Максимально допустимая ошибка компенсации, когда пучок рассеяния полностью сместится с пиксела сенсора,

$$\Delta_{\text{комп}} = 2a = 2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,028 \text{ мм}. \quad (14)$$

Максимально допустимая ошибка скорости компенсации

$$\Delta V_{\text{комп}} = \frac{\Delta_{\text{комп}}}{H_3} = \frac{0,028}{0,002} = 14 \text{ мм/с}. \quad (15)$$

По результатам проведенных расчетов видим, что для данного примера можно использовать пьезоактюатор M-664 Linear Positioning Stage в качестве компенсатора сдвига изображения [3]. Характеристики этого актюатора позволяют полностью компенсировать сдвиг изображения, вызванный прямолинейным движением носителя, от-

носителем объекта фотографирования. Скорость движения такого актюатора в 2,7 раза больше скорости перемещения изображения по плоскости сенсоров. Возможность быстрого изменения скорости движения актюатора в зависимости от изменения высоты полета или скорости движения носителя дают большое преимущество по сравнению с другими методами компенсации сдвига изображения.

Осуществление компенсации сдвига изображения возможно с помощью пьезоэлектрического актюатора, который позволяет реализовать широкий диапазон скоростей компенсации и точное позиционирование за счет встроенного датчика (энкодера). Подобная система может применяться для фокусировки объективов, перемещения диафрагм, смещения приемника изображения при поиске плоскости наилучшей установки, а также в адаптивной оптике, например в подвижках зеркал телескопов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Щербаков Я.Е. *Расчет и конструирование аэрофотоаппаратов*, Москва, Машиностроение, 1979, 264 с.
- [2] <http://www.physikinstrumente.com/en/index.php> (дата обращения 23.06.2013).
- [3] <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения 17.06.2013).

Статья поступила в редакцию 24.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Заварзин В.И., Патин Г.А. Компенсация сдвига изображения пьезоэлектрическим актюатором. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 7.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/optica/821.html>

Заварзин Валерий Иванович родился в 1956 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1980 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований», декан факультета «Оптико-электронное приборостроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 научных публикаций в области оптического приборостроения. e-mail: zavarzin@bmstu.ru

Патин Григорий Александрович родился в 1990 г., студент факультета «Оптико-электронное приборостроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана с 2008 г. Инженер-конструктор ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева». e-mail: PatinGrigory@yandex.ru