

УДК 528.7; 528.711.1

КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, АЭРОФОТОСЪЕМКА И ФОТОГРАММЕТРИЯ

О ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВЫХ ФОТОКАМЕР СО ШТОРНО-ЩЕЛЕВЫМ ЗАТВОРОМ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ЛЕГКОМОТОРНЫХ И БЕСПИЛОТ- НЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Профессор, кандидат техн. наук **А.П. Михайлов**, аспирант **Эдгар Рубен Монтель Андраде**,
аспирант **Перес Вальдез Мануэль де Хесус**

Московский государственный университет геодезии и картографии.

al_mikhailov@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности формирования аэрофотоснимка съёмочной камерой со шторно-щелевым затвором и систематические погрешности координат точек на снимке, возникающие в результате изменения линейных и угловых элементов внешнего ориентирования фотокамеры в период формирования снимка.

Ключевые слова: фотокамера, аэрофотосъемка, фотограмметрия, шторно-щелевой затвор, беспилотные летательные аппараты

Abstract. Peculiarities of forming an aerial photo taken with a camera with a focal-plane shutter are considered in the paper along with systematic errors of the image points' coordinates, resulting from changes in the linear and angular exterior orientation of the camera during the image formation.

Keywords: camera, aerial photography, photogrammetry, focal-plane shutter, unmanned aerial vehicles (UAV)

Для выполнения аэрофотосъемки небольших участков и линейных объектов в последние годы все в больших объемах используются легкомоторные самолеты и вертолеты, мотодельтапланы и беспилотные летательные аппараты [1,2]. Их применение обусловлено относительно невысокой стоимостью эксплуатации этих летательных аппаратов.

В зависимости от конструкции летательного аппарата и величины его полезной нагрузки для получения аэрофотоснимков используют как специализированные аэрофотокамеры, так и не предназначенные изначально для аэрофотосъемки, профессиональные и любительские цифровые фотокамеры. С целью обеспечения возможности фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, получаемых этими камерами, выполняют процедуру их фотограмметрической калибровки, в результате которой определяют значения фокусного расстояния фотокамеры, координат главной точки и параметров фотограмметрической дисторсии объектива фотокамеры.

Для аэрофотосъемки с малых летательных аппаратов используют цифровые фотокамеры

с центральным и электронными затворами, а также фотокамеры с ламельным (шторно-щелевым) затвором. При использовании фотокамер с центральными и электронными затворами не возникает проблем их фотограмметрической обработки, так как изображения всех точек на снимках получают одновременно и снимки являются центральными проекциями объекта.

В фотокамерах со шторно-щелевыми затворами формирование изображения снимка производится посредством формируемой передней и задней ламелями затвора щели, перемещающейся с постоянной скоростью параллельно длинной стороне кадра (рис.1).

В связи тем что шторно-щелевой затвор формирует изображение снимка не одновременно, снимок можно представить в виде матрицы, строки которой формируются в различные моменты времени, каждому из которых, в общем случае, соответствуют свои значения элементов внешнего ориентирования, так как за время формирования снимка фотокамера перемещается в пространстве и изменяет свою угловую ориентацию. То есть снимки, полу-

ченные камерами со шторно-щелевыми затворами, являются сканерными снимками [3].

Очевидно, что, в общем случае, изображение точки местности на снимке при использовании центрального затвора не будет совпадать с ее положением на снимке, полученном при использовании шторно-щелевого затвора (рис. 2).

При фотограмметрической обработке снимков, полученных фотокамерами со шторно-щелевым затвором, в программных комплексах, разработанных для обработки кадровых снимков, смещения точек на снимках, вызванные шторно-щелевым затвором, приводят к погрешностям в определении элементов внешнего ориентирования снимков и координат точек местности при построении сетей фототриангуляции и, как следствие, всех последующих процессов фотограмметрической обработки снимков.

Несмотря на проблемы, возникающие при фотограмметрической обработке аэрофото-снимков, получаемых фотокамерами со шторно-щелевыми затворами, эти фотокамеры активно используют при съемке с беспилотных летательных аппаратов, а также, в ряде случаев, и при съемке с легкомоторных летательных аппаратов.

В частности, очень широко для аэрофото-съемки используется цифровая зеркальная фотокамера Canon EOS 5D с матрицей 21.1 мегапикселя. Ее выбор, помимо небольших габаритов и веса камеры, обусловлен высоким фотографическим качеством получаемых снимков и возможностью ее комплексирования с управляющим и навигационным комплексами летательного аппарата.

В этой камере время формирования изображения кадра при выдержках короче или равных $1/250$ с постоянно и равно $1/250$ с. Изменение величины выдержки осуществляется изменением величины щели. Так, например, при величине выдержки $1/500$ с ширина щели равна половине величины короткой стороны кадра, а при величине выдержки $1/2000$ с — $1/8$ части короткой стороны кадра.

Рассчитаем смещение координат точек снимка за время формирования снимка съёмочной камерой Canon EOS 5D в зависимости от изменения значений линейных и угловых элементов внешнего ориентирования. При рас-

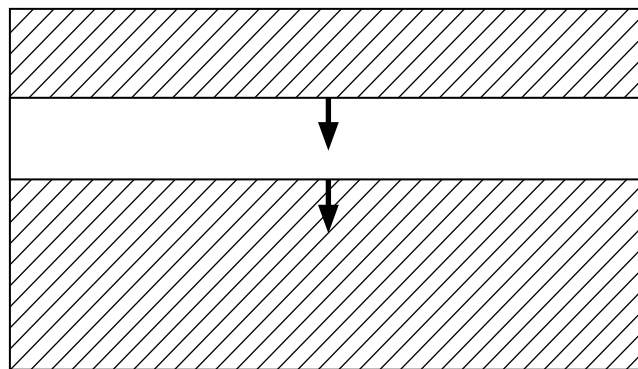


Рис. 1. Экспонирование снимка шторно-щелевым затвором

четах примем следующие параметры съёмочной камеры и аэрофото-съемки: фокусное расстояние съёмочной камеры $f=50$ мм; формат светоприемной матрицы 24×36 мм, а размер пикселя — 6 мкм. Примем также, что фотоаппарат развернут короткой стороной по направлению съемки, а аэрофото-съемка производится с высоты $H=500$ м с летательного аппарата, скорость которого $v=100$ км/ч.

За время формирования снимка $\Delta t=1/250$ с смещение точек на снимке в конце кадра отно-

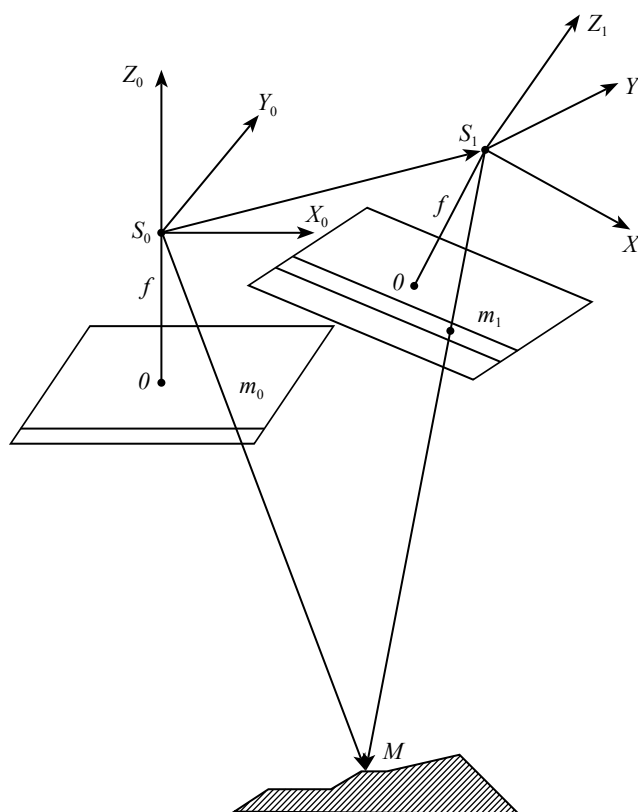


Рис. 2. Схема формирования аэроснимка фотокамерой со шторно-щелевым затвором

сительно начала кадра за счет поступательного перемещения летательного аппарата

$$\Delta x = \frac{fv}{H} \Delta t = 5,6 \text{ мкм} \approx 1 \text{ пиксель.}$$

Учитывая, что по снимкам, полученным фотокамерой Canon EOS 5D, можно измерять координаты и параллаксы точек изображения с точностью до 0,25 пикселя, смещение точек за счет поступательного перемещения летательного аппарата снижает точность фотограмметрических измерений снимков. Необходимо отметить, что при построении сетей фототриангуляции из-за систематического характера смещений точек на снимках возможна значительная деформация сети фототриангуляции, которую можно избежать при использовании значений координат точек фотографирования, определяемых в полете с помощью глобальных спутниковых навигационных систем.

Рассмотрим смещение точек на снимке, вызванных изменением угловых элементов внешнего ориентирования снимка в период формирования снимка. Смещения координат точек Δx и Δy в зависимости от изменений угловых элементов внешнего ориентирования $\Delta\omega$, $\Delta\alpha$ и $\Delta\kappa$ можно определить по известным формулам [4]:

$$\Delta x = \frac{xy}{f} \Delta\omega - \left(f + \frac{x^2}{f} \right) \Delta\alpha + y \Delta\kappa;$$

$$\Delta y = \left(f + \frac{y^2}{f} \right) \Delta\omega - \frac{xy}{f} \Delta\alpha - x \Delta\kappa.$$

Воспользуемся этими формулами для определения величин изменения угловых элементов внешнего ориентирования фотокамеры за время формирования кадра, вызывающих смещение координат точек снимка $\Delta x = \Delta y = 0,5$ пикселя = 3 мкм. Определения проведем для точек снимка, расположенных в углу кадра, то есть имеющих координаты $x = 12$ мм и $y = 18$ мм. В результате получим, что смещение $\Delta x = 0,5$ пикселя вызывается поворотом фотокамеры соответственно на углы $\Delta\omega = 2'23''$, $\Delta\alpha = 12''$ и ее разворотом на угол $\Delta\kappa = 34''$.

Эти изменения значений угловых элементов внешнего ориентирования могут иметь место при скорости угловых эволюций летательного аппарата по крену $9,9^\circ$ в секунду, по

тангажу $0,8^\circ$ в секунду и рысканью $2,4^\circ$ в секунду.

Смещение $\Delta y = 0,5$ пикселя вызывается поворотом фотокамеры соответственно на углы $\Delta\omega = 11''$ и $\Delta\alpha = 2'23''$ и разворотом на угол $\Delta\kappa = 52''$, что соответствует скорости угловых эволюций по крену $0,8^\circ$ в секунду, по тангажу $9,9^\circ$ в секунду и рысканью $3,6^\circ$ в секунду.

Скорости угловых эволюций легкомоторных летательных аппаратов, особенно беспилотных, при проведении аэрофотосъемки могут достигать значительно больших значений, что приводит к значительным систематическим погрешностям координат точек снимка и, как следствие, к снижению точности фотограмметрических построений, выполняемых по этим снимкам.

Таким образом, можно сделать заключение, что при аэрофотосъемке целесообразно использовать цифровые фотокамеры, обеспечивающие построение снимков в центральной проекции. При выполнении аэрофотосъемки цифровыми фотокамерами со шторно-щелевыми (ламельными) затворами, необходимо предварительно проводить оценку влияния параметров съемочной аппаратуры и аэрофотосъемки, а также стабильности полета носителя на формирование аэрофотоснимков. На основании этой оценки можно сделать вывод об ожидаемой точности, полученной в результате фотограмметрической обработки снимков, и, в конечном счете, о целесообразности выполнения аэрофотосъемки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазутин В.А. Технологии мониторинга объектов и территорий газовой инфраструктуры с использованием малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, <http://www.gascom.ru/upload/iblock/c70/c7099a94ae932f2a4171d5c9c15ce91d.pdf>
2. Скубиев С.И. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей картографии/ Тезисы X Юбилейной международной научно-технической конференции «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». Гаета, Италия, 2010.
3. Михайлов А.П. Фотограмметрическая обработка стереопар снимков, полученных съемочными камерами со шторно-щелевыми затворами// Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1990. – № 2. – С. 79–83.
4. Скиридов А.С. Стерефотограмметрия.–М.: Геодезиздат, 1959.

Принята к печати 29 апреля 2013 г.

Рекомендована кафедрой фотограмметрии МИИГАиК