

О ВОЗМОЖНОСТИ КАЛИБРОВКИ КАМЕР БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КООРДИНАТ ОПОРНЫХ ТОЧЕК

Андрей Владимирович Семенцов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, заведующий научно-производственной лабораторией «ТЕМПУС» в Центре геоинформационных компетенций, тел. (960)779-06-79, e-mail: andsemencov@mail.ru

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

В статье приводится доказательство возможности использования условия равенства координат точек трансформированных снимков для калибровки камер. Приведённая информация является дополнением к опубликованной ранее статье.

Ключевые слова: калибровка камер, условие равенства координат, внутреннее ориентирование снимков, дисторсия объектива, функциональные связи.

ABOUT THE ABILITY OF CAMERA CALIBRATION WITHOUT USING CONTROL POINTS COORDINATES

Andrey V. Sementsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., head of scientific and production laboratory «TEMPUS» of the center of geoinformation competencies, tel. (960)779-06-79, e-mail: andsemencov@mail.ru

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Assoc. Prof. of department of physical geodesy and remote sensing SSUGT, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

The article gives a proof of the possibility of using the condition of equality of the points coordinates of the transformed images to calibrate the cameras. The given information is an addition to the previously published article.

Key words: camera calibration, condition of equal coordinates, interior orientation of images, lens distortion, functional links.

Данная статья является дополнением к статье «Калибровка без использования твёрдых опорных данных», опубликованной в журнале «Геодезия и картография» №4 в 2014 г [3]. В указанной публикации были рассмотрены аналитические зависимости, возникающие в процессе решения систем уравнений, лежащих в основе методики калибровки камер, предполагающей использование функциональных связей между координатами соответственных точек, отобра-

жившихся на разных снимках [2]. Следует отметить, что в данной статье анализ выполнялся с учётом дисторсии только 0 и 1 порядков.

Напомним, что важным условием рассмотренного подхода является получение нескольких снимков из одного центра фотографирования при разных наклонах оптических осей фотоаппарата.

С учётом поступивших замечаний по указанной статье [1] целесообразно рассмотреть возможности калибровки камер указанным способом в более общем виде.

Сразу стоит оговориться, что всё-таки применительно к предложенной методике более корректным является использование формулировки «калибровка без использования координат опорных точек».

Итак, вернёмся ещё раз к доказательству возможности использования условия равенства координат точек трансформированных снимков для калибровки.

Для этого рассмотрим условие равенства координат точек двух снимков, записанное в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} = N \times A \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Очевидно, что данное равенство выполняется, если измеренные координаты точек, фокусное расстояние и параметры разворота не содержат ошибок.

Если перечисленные параметры определены с погрешностями, то равенство будет выполняться с учётом возникающих невязок:

$$\begin{pmatrix} x_1 + \sigma_{1x} + \xi_{1x} \\ y_1 + \sigma_{1y} + \xi_{1y} \\ -f - df \end{pmatrix} = dN \times dA \times N \times A \begin{pmatrix} x_2 + \sigma_{2x} + \xi_{2x} \\ y_2 + \sigma_{2y} + \xi_{2y} \\ -f - df \end{pmatrix} + V \quad (2)$$

или

$$V = \begin{pmatrix} x_1 + \sigma_{1x} + \xi_{1x} \\ y_1 + \sigma_{1y} + \xi_{1y} \\ -f - df \end{pmatrix} - dN \times dA \times N \times A \begin{pmatrix} x_2 + \sigma_{2x} + \xi_{2x} \\ y_2 + \sigma_{2y} + \xi_{2y} \\ -f - df \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь σ – дисторсия;

df – погрешность определения фокусного расстояния;

ξ – случайные погрешности измерений.

Если использовать равенство (1), то, раскрывая скобки, получим:

$$\begin{aligned}
V &= \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1x} + \xi_{1x} \\ \sigma_{1y} + \xi_{1y} \\ -df \end{pmatrix} - dN \times dA \left(N \times A \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ -f \end{pmatrix} \right) - dN \times dA \times N \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} + \xi_{2x} \\ \sigma_{2y} + \xi_{2y} \\ -df \end{pmatrix} \Rightarrow \\
V &= \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1x} + \xi_{1x} \\ \sigma_{1y} + \xi_{1y} \\ -df \end{pmatrix} - dN \times dA \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} - dN \times dA \times N \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} + \xi_{2x} \\ \sigma_{2y} + \xi_{2y} \\ -df \end{pmatrix} \Rightarrow \\
V &= (I - dN \times dA) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1x} + \xi_{1x} \\ \sigma_{1y} + \xi_{1y} \\ -df \end{pmatrix} - dN \times dA \times N \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} + \xi_{2x} \\ \sigma_{2y} + \xi_{2y} \\ -df \end{pmatrix} \Rightarrow \\
V &= (I - dN \times dA) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1x} \\ \sigma_{1y} \\ -df \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_{1x} \\ \xi_{1y} \\ 0 \end{pmatrix} - dN \times N \times dA \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} \\ \sigma_{2y} \\ -df \end{pmatrix} - dN \times N \times dA \times A \begin{pmatrix} \xi_{2x} \\ \xi_{2y} \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow \\
V &= (I - dN \times dA) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \sigma_{1x} \\ \sigma_{1y} \\ -df \end{pmatrix} - dN \times N \times dA \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} \\ \sigma_{2y} \\ -df \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \xi_{1x} \\ \xi_{1y} \\ 0 \end{pmatrix} - dN \times N \times dA \times A \begin{pmatrix} \xi_{2x} \\ \xi_{2y} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)
\end{aligned}$$

Если в равенство добавить адекватное математическое описание дисторсии, то очевидно, что сумма квадратов невязок в системе уравнений составит

$$\min \sum v^2 = \sum (\xi_1 - N\xi_2)^2 = \sum N^2 \xi_1^2 + \sum \xi_2^2 - \sum 2N\xi_1\xi_2 = \sum \xi_1^2 + \sum N^2 \xi_2^2. \quad (5)$$

Однако аналогичный результат решения систем уравнений может быть получен и при существовании зависимости между дисторсиями точек, изображённых на первом и втором снимках, полученных из выражения (4):

$$\begin{pmatrix} \sigma_{1x} \\ \sigma_{1y} \\ -df \end{pmatrix} = dN \times N \times dA \times A \begin{pmatrix} \sigma_{2x} \\ \sigma_{2y} \\ -df \end{pmatrix} - (I - dN \times dA) \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ -f \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Таким образом, по одной паре снимков определить параметры несимметричной в пределах снимка дисторсии невозможно. Неопределённости можно избежать, используя, например, центросимметричную радиальную модель дисторсии, или увеличив количество функциональных зависимостей между дисторсиями точек путём увеличения количества снимков с разными углами разворота.

В программе, разработанной авторами, для калибровки камер без использования координат опорных точек применяется условие равенства координат точек трансформированных снимков:

$$\begin{aligned} x'_{ni} - (-f) \frac{X_{nji}}{Z_{nji}} &= v_x \\ y'_{ni} - (-f) \frac{Y_{nji}}{Z_{nji}} &= v_y \end{aligned} \quad , \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} X_{nji} \\ Y_{nji} \\ Z_{nji} \end{pmatrix} = A_{\alpha\omega\kappa_i}^{-1} \cdot A_{\alpha\omega\kappa_j} \begin{pmatrix} x'_{nj} \\ y'_{nj} \\ -f \end{pmatrix} \quad . \quad (8)$$

где x'_{ni} , y'_{ni} – исправленные за дисторсию координаты n -ой точки на снимке i ;

$A_{\alpha\omega\kappa_i}$ – матрица перехода из пространственной системы координат снимка i во внешнюю систему координат через углы Эйлера.

Уравнения составляются для всех пар соответственных точек на снимках i и j . Дополнительное ограничение – $\alpha_1 = 0$, $\omega_1 = 0$, $\kappa_1 = 0$.

Таким образом, проведённый анализ дополнительно подтверждает возможность использования данной методики для калибровки цифровых камер [4,5,6]. Усовершенствованная методика, позволяющая исключать погрешности, вносимые нестрогим соблюдением геометрических условий [8], а также использовать дополнительное геометрическое условие [7] на взаимное расположение точек тест-объекта [9, 10], будет представлена в следующей публикации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубиновский В. Б. Калибровка снимков. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
2. Антипов И. Т. Калибровка камер без использования твердых опорных данных // Геодезия и картография. – 2014. – № 7. – С. 59–60.
3. Семенцов А. В. Калибровка камер без использования твердых опорных данных // Геодезия и картография. – 2014. – № 4. – С. 26–30.
4. Калибровка снимков на равнинном испытательном полигоне с определением координат центров фотографирования / Макаров А. П., Быков Л. В., Быков В. Л., Быков А. Л. // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 4. – С. 60–62.
5. Никитин В. Н. Калибровка камер по снимкам плоского тест-объекта // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № 2. – С. 71–80.
6. Никитин В. Н., Николаева Т. В. Калибровка цифровой неметрической камеры по снимкам звёздного неба // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 7–11.

7. Никитин В. Н., Семенцов А. В. Использование дополнительных геометрических условий при решении геодезических и фотограмметрических задач // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 41–45.

8. Семенцов А. В., Никитин В. Н. Влияние нестрогого соблюдения геометрических условий на точность определения элементов внутреннего ориентирования при калибровке камер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. научн. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов (Новосибирск 8–18 апр. 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 72–80.

9. Семенцов А. В. Разработка тест-объекта для калибровки цифровых камер // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012 : VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск : сб. молодых учёных СГГА. – Новосибирск : СГГА, 2012. – С. 60–65.

10. Черемушкин А. В. Тест-объект для калибровки фотографических систем // ГЕО-Сибирь-2006. II Международный научный конгресс: сб. материалов. (Новосибирск, 19–29 апреля 2006 г.). – Новосибирск: СГГА, 2006. Т. 3, ч. 1. – С. 116–118.

© А. В. Семенцов, В. Н. Никитин, 2015