

2. Корчинський В.М. Інформативність афінно – інваріантної моделі проєкційних зображень в їх морфологічному аналізі // Proc. of the Sixth All-Ukrainian International Conf. "Signal/Image Processing and Pattern Recognition" (UkrOBRAZ'2002). - Kyiv (Ukraine). – 2002. - Р. 43-46.
3. Гнатушенко В.В., Корчинський В.М. Інваріантна інформаційно-геометрична модель ідентифікації ізопланатичних зображень // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2003. – Вип. 72. – С. 28-31.

Получено 11.03.2006 г.

УДК 528.71

В.В. Гнатушенко

МОДЕЛЬ ОРІЄНТУВАННЯ ПАРИ ЗНІМКІВ, ЩО НАЛЕЖАТЬ ОДНІЙ ПЛОЩИНІ

Постановка проблеми

В даний час усі сучасні аерокосмічні носії надають можливість користувачу одержувати стереозображення однієї ділянки земної поверхні. На етапі попередньої обробки таких даних, як правило, виникає необхідність знання елементів зовнішнього і внутрішнього орієнтування відповідних сенсорів (камер). Але у більшості випадків вони невідомі, тому постає проблема побудови і використання адекватних моделей формування зазначених зображень.

Аналіз останніх досліджень

Серед останніх досліджень у даному напрямку слід виділити роботи [1-5], в яких розглядаються можливості та використання багатьох найефективніших на сьогодні моделей орієнтування аерокосмічних знімків. Але при відповідному моделюванні стереозображень вони або є неефективними, або їхня програмна реалізація потребує потужних обчислювальних ресурсів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу побудови адекватної моделі орієнтації стереозображень, які б враховували особливості їхнього формування.

©В.В. Гнатушенко, 2006

Основна частина

При обробці даних стереозйомки, особливо одержаних з літаків, можна припустити, що літальний апарат рухається в одній площині (наприклад, паралельно поверхні Землі), тобто обидва знімки стереопари також належать одній площини. Така ситуація схематично подана на рис. 1, рис. 2. Тому будемо вважати таку ситуацію окремим випадком паралельно-проекційної моделі, що була запропонована в роботі [6], при цьому кути $\omega = \omega'$, $\varphi = \varphi'$. Запишемо поворотні матриці окремо для умовно лівого і правого знімків у наступному вигляді:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = R_{\omega} R_{\varphi} R_{\kappa} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

а для правого знімка стереопари

$$R' = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} \end{bmatrix} = R_{\omega} R_{\varphi} R_{\kappa'} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa' & -\sin \kappa' & 0 \\ \sin \kappa' & \cos \kappa' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

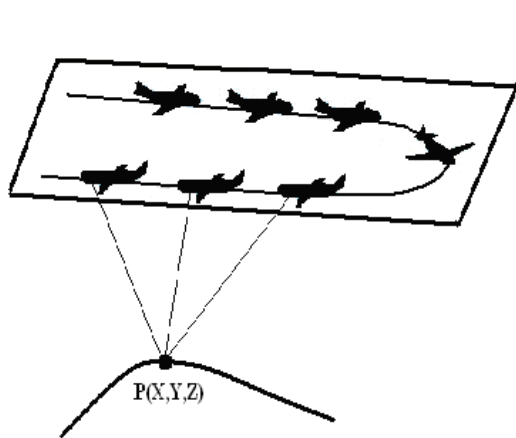


Рисунок 1

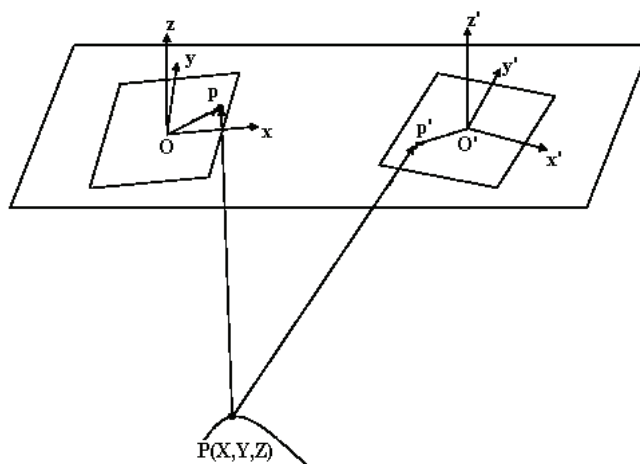


Рисунок 2

Обчислимо $R^T R'$ і запишемо результат у компактному вигляді:

$$\begin{aligned}
 R^T R' &= (R_\omega R_\varphi R_K)^T (R_\omega R_\varphi R_{K'}) = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \kappa' & -\sin \kappa' & 0 \\ \sin \kappa' & \cos \kappa' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \kappa \cos \kappa' + \sin \kappa \sin \kappa' & \sin \kappa \cos \kappa' - \cos \kappa \sin \kappa' & 0 \\ -(\sin \kappa \cos \kappa' - \cos \kappa \sin \kappa') & \cos \kappa \cos \kappa' + \sin \kappa \sin \kappa' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\kappa' - \kappa) & -\sin(\kappa' - \kappa) & 0 \\ \sin(\kappa' - \kappa) & \cos(\kappa' - \kappa) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \Delta\kappa & -\sin \Delta\kappa & 0 \\ \sin \Delta\kappa & \cos \Delta\kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = R_{\Delta\kappa}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Використовуючи загальну модель, запропоновану в роботі [2], підставимо одержаний результат у співвідношення [4]

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{bmatrix} + s\lambda R^T \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} + \frac{s}{s'} R^T R' \begin{bmatrix} x' - \Delta x' \\ y' - \Delta y' \\ 0 \end{bmatrix} - s\lambda' R^T \begin{bmatrix} L' \\ M' \\ N' \end{bmatrix}, \tag{4}$$

після чого можна записати три наступні рівняння

$$\begin{aligned}
 x &= \Delta x + s\lambda(r_{11}L + r_{21}M + r_{31}N) + \frac{s}{s'}((x' - \Delta x') \cos \Delta\kappa - (y' - \Delta y') \sin \Delta\kappa) - \\
 &- s\lambda'(r_{11}L' + r_{21}M' + r_{31}N') \\
 y &= \Delta y + s\lambda(r_{12}L + r_{22}M + r_{32}N) + \frac{s}{s'}((x' - \Delta x') \sin \Delta\kappa + (y' - \Delta y') \cos \Delta\kappa) - \\
 &- s\lambda'(r_{12}L' + r_{22}M' + r_{32}N') \\
 0 &= 0 + s\lambda(r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N) + 0 - s\lambda'(r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N')
 \end{aligned} \tag{5}$$

З останнього рівняння знаходимо λ :

$$\lambda = \frac{r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N'}{r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N} \lambda' \tag{6}$$

і підставляємо в інші рівняння співвідношення (5):

$$x = \left(\frac{s}{s'} \cos \Delta\kappa \right) x' + \left(-\frac{s}{s'} \sin \Delta\kappa \right) y' + \left(\Delta x - \frac{s}{s'} (\Delta x' \cos \Delta\kappa - \Delta y' \sin \Delta\kappa) \right) +$$

$$\begin{aligned}
 & \left(s(r_{11}L + r_{21}M + r_{31}N) \frac{r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N'}{r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N} - s(r_{11}L' + r_{21}M' + r_{31}N') \right) \lambda' \\
 y = & \left(\frac{s}{s'} \sin \Delta\kappa \right) x' + \left(\frac{s}{s'} \cos \Delta\kappa \right) y' + \left(\Delta y - \frac{s}{s'} (\Delta x' \sin \Delta\kappa - \Delta y' \cos \Delta\kappa) \right) + \quad (7) \\
 & \left(s(r_{12}L + r_{22}M + r_{32}N) \frac{r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N'}{r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N} - s(r_{12}L' + r_{22}M' + r_{32}N') \right) \lambda'
 \end{aligned}$$

Запишемо вираз (7) у вигляді системи рівнянь

$$\begin{aligned}
 x &= c_1 x' + c_2 y' + c_3 \lambda' + c_4 \\
 y &= c_5 x' + c_6 y' + c_7 \lambda' + c_8, \quad (8)
 \end{aligned}$$

де $c_1 = \frac{s}{s'} \cos \Delta\kappa$, $c_2 = -\frac{s}{s'} \sin \Delta\kappa$, $c_4 = \left(\Delta x - \frac{s}{s'} (\Delta x' \cos \Delta\kappa - \Delta y' \sin \Delta\kappa) \right)$,

$$c_3 = \left(s(r_{11}L + r_{21}M + r_{31}N) \frac{r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N'}{r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N} - s(r_{11}L' + r_{21}M' + r_{31}N') \right),$$

$$c_5 = \frac{s}{s'} \sin \Delta\kappa, \quad c_6 = -\frac{s}{s'} \cos \Delta\kappa, \quad c_8 = \Delta y - \frac{s}{s'} (\Delta x' \sin \Delta\kappa - \Delta y' \cos \Delta\kappa),$$

$$c_7 = s(r_{12}L + r_{22}M + r_{32}N) \frac{r_{13}L' + r_{23}M' + r_{33}N'}{r_{13}L + r_{23}M + r_{33}N} - s(r_{12}L' + r_{22}M' + r_{32}N').$$

З першого рівняння (8) виразимо λ' :

$$\lambda' = \frac{1}{c_3} x - \frac{c_1}{c_3} x' - \frac{c_2}{c_3} y' - \frac{c_4}{c_3}. \quad (9)$$

В результаті підстановки виразу (9) у друге рівняння співвідношення (8), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 y &= c_5 x' + c_6 y' + c_7 \left(\frac{1}{c_3} x - \frac{c_1}{c_3} x' - \frac{c_2}{c_3} y' - \frac{c_4}{c_3} \right) + c_8 = \\
 &= \left(\frac{c_1 c_7 - c_3 c_5}{c_3 c_6 - c_2 c_7} \right) x' + \left(\frac{-c_7}{c_3 c_6 - c_2 c_7} \right) x + \left(\frac{c_3}{c_3 c_6 - c_2 c_7} \right) y + \left(\frac{c_4 c_7 - c_3 c_8}{c_3 c_6 - c_2 c_7} \right). \quad (10)
 \end{aligned}$$

Вираз (10) може використовуватися для вирішення точкової відповідності між двома сценами і відновлення параметрів орієнтування сенсорів. Проведені тестування запропонованої моделі підтвердили її адекватність.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропонована модель дозволяє користувачам використовувати величезний потенціал аерокосмічних стереозображень, особливо високого просторового розрізнення, без наявності точної фізичної моделі сенсорів та GCP.

Наші подальші дослідження будуть присвячені аналізу можливостей використання даних стереозйомки з космічних апаратів EROS, SPOT, ASTER для подальшої побудови цифрової моделі рельєфу (DEM).

ЛІТЕРАТУРА

1. Lee, C., Theiss, H.J., Bethel, J.S., Mikhail, E.M., 2000. Rigorous mathematical modeling of airborne pushbroom imaging systems. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, No.4, pp. 385-392.
2. Гнатушенко В.В. Паралельно-проекційна модель сканерних аерокосмічних зображень // *Матеріали Міжнародної наукової конф. “Математичні проблеми технічної механіки” / Дніпропетровськ: ДНВП “Системні технології”.- 2005. – С. 146-147.*
3. Murai, S., Matsumoto, Y., Li, X., 1995. Stereoscopic imagery with an airborne 3-line scanner (TLS). In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.30, Part 5W1, pp.20-25.
4. Гнатушенко В.В. Альтернативні геометричні моделі одержання супутникових зображень високого розрізнення // *Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 8. – С. 48-53.*
5. Гнатушенко В.В., Дмитрієва І.С. Моделі супутникових стереозображень високої просторової здатності // *Геометричне та комп’ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2006. – Вип. 14. – С. 72-78.*
6. Morgan M., Kim K., Jeong S., Habib A. Parallel projection modelling for linear array scanner scenes // *XXth Congress of ISPRS, 12-23 July, 2004.*

Получено 10.03.2006 г.