Kalibration und Umrechnung von INS- und photogrammetrischen Winkeln für beliebige gegenseitige Anordnungen

Manfred BÄUMKER

1 Einleitung

Für die direkte Georeferenzierung von Luftbildern mittels eines INS/GPS-Systems ist es üblich, die drei Hauptachsen des INS annähernd parallel zu den Achsen des Bildkoordinatensystems anzuordnen. Die daraus resultierenden kleinen Winkeldifferenzen wegen der nicht exakten parallelen Ausrichtung können dann i.d.R. in Form einer differentiellen (schiefsymmetrischen) Drehmatrix, die einmalig im Rahmen einer Kalibration bestimmt werden muss, berücksichtigt werden (Bäumker & Heimes 2001).

Soll die Kamera aber beliebig zu den Hauptachsen des INS angeordnet werden, z.B. in einem Fahrzeug, in dem die Blickrichtung der Kamera schräg nach vorne und abwärts geneigt ist, können die Nichtparallelitäten nicht mehr durch eine differentielle Drehmatrix berücksichtigt werden. Nachfolgend werden die notwendigen Berechnungen zur Berücksichtigung und zur Kalibration der Nichtparallelitäten unter Verwendung einer allgemeinen (orthogonalen) 3x3-Drehmatrix hergeleitet. Um dabei mögliche Probleme bei der Ausgleichung der 9 Matrixelemente in Verbindung mit der Orthogonalität der Matrix zu vermeiden, erfolgt die Berechnung über Quaternionen. Nachfolgend werden zunächst die Beziehungen zwischen den in der Inertialnavigation und der Photogrammetrie verwendeten Koordinatensysteme und Winkel hergeleitet. Anschließend wird dann die Kalibration mit Hilfe der Quaternionen beschrieben und an einem praktischen Beispiel gezeigt.

2 Definition der Koordinatensysteme und der Winkel in der Photogrammetrie

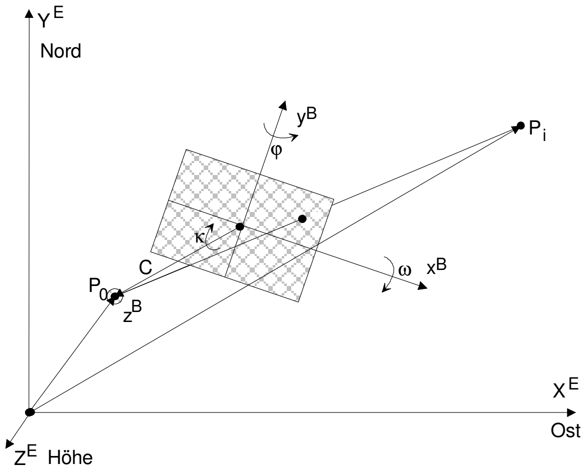

Abb. 1: Definition der Winkel und Koordinatensysteme in der Photogrammetrie

Zur Aufstellung der Kollinearitätsgleichungen muss zunächst die Beziehung des Objektkoordinatensystems (*E*-System) zum verdrehten Bildkoordinatensystem (*B*-System) hergestellt werden. Diese Beziehung wird i.d.R. durch eine Drehmatrix, die sich aus drei Einzeldrehungen, sukzessive um die X-, Y-, und Z-Achse, zusammensetzt, beschrieben (Kraus 2004). Mit dieser Drehmatrix lässt sich ein beliebiger Vektor, der im Objektkoordinatensystem gegeben ist, in das verdrehte Bildkoordinatensystem transformieren. Zur Beschreibung eines Vektors, der vom Projektionszentrum P_0 zu einem beliebigen Objektpunkt P_i zeigt, werden hier folgende Vektoren im erdfesten Objektkoordinatensystem (*E*-System) bzw. im Bildkoordinatensystem (*B*-System) definiert:

$$r_{0i}^E = r_i^E - r_0^E = \begin{bmatrix} X_i^E \\ Y_i^E \\ Z_i^E \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_0^E \\ Y_0^E \\ Z_0^E \end{bmatrix} \qquad r_i^B = \begin{bmatrix} x_i^B \\ y_i^B \\ z_i^B \end{bmatrix}$$

Der obere Index bezeichnet das System, in dem der Vektor vorliegt, *E* für das Objektkoordinatensystem, *B* für das Bildkoordinatensystem. Die Beziehung zwischen den beiden Vektoren im *E*- bzw. im *B*-System wird nun über die Drehmatrix C_E^B, die von dem jeweiligen photogrammetrischen Auswertesystem abhängt, hergestellt. Der untere Index beschreibt das Ausgangssystem und der obere Index das Zielsystem, hier also die Richtung vom *E*-System ins *B*-System. In den photogrammetrischen Auswertesystemen ist die Drehmatrix, die sich aus drei sukzessiven Drehungen (Winkel φ, ω, κ) zusammensetzt, leider nicht einheitlich definiert. Dieses betrifft sowohl die Drehreihenfolge (primär, sekundär, tertiär) als auch die Drehrichtungen. Beispielhaft seien hier die photogrammetrischen Auswertesysteme PATB/PHIDIAS, die dieselbe Drehreihenfolge benutzen, angeführt (Benning und Schwermann 1997).

Rotationsmatrix für PATB/PHIDIAS:

$$r_i^B = C_E^B \cdot r_{0i}^E$$

$$C_E^B = f(\omega, \varphi, \varkappa) = R_z(-\varkappa) \cdot R_y(-\varphi) \cdot R_x(-\omega)$$

mit

$$R_x(\omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\omega & -\sin\omega \\ 0 & \sin\omega & \cos\omega \end{bmatrix} \qquad R_y(\varphi) = \begin{bmatrix} \cos\varphi & 0 & -\sin\varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\varphi & 0 & \cos\varphi \end{bmatrix} \qquad R_z(\varkappa) = \begin{bmatrix} \cos\varkappa & -\sin\varkappa & 0 \\ \sin\varkappa & \cos\varkappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_E^B = \begin{bmatrix} \cos\varkappa\cdot\cos\varphi & \sin\varkappa\cdot\cos\omega + \cos\varkappa\cdot\sin\varphi\cdot\sin\omega & \sin\varkappa\cdot\sin\omega - \cos\varkappa\cdot\sin\varphi\cdot\cos\omega \\ -\sin\varkappa\cdot\cos\varphi & \cos\varkappa\cdot\cos\omega - \sin\varkappa\cdot\sin\varphi\cdot\sin\omega & \cos\varkappa\cdot\sin\omega + \sin\varkappa\cdot\sin\varphi\cdot\cos\omega \\ \sin\varphi & -\cos\varphi\cdot\sin\omega & \cos\varphi\cdot\cos\omega \end{bmatrix}$$

Die Kollinearitätsgleichungen für die gemessen Bildkoordinaten x_i', y_i' ergeben sich dann unter Berücksichtigung der Kamerakonstante c und der Koordinaten des Projektionszentrums (X_0^E, Y_0^E, Z_0^E) wie folgt:

…

Alles weitere im Tagungsband