

Zygmunt Paszotta
Jakub Szufwicz

ORIENTACJA ZEWNĘTRZNA ZDJĘCIA Z WYKORZYSTANIEM GEOMETRYCZNYCH CECH OBIEKTÓW

Streszczenie

Automatyzacja procesu wyznaczania elementów orientacji zdjęć jest jednym z najważniejszych zadań współczesnej fotogrametrii. W artykule przedstawiono metodę wyznaczania elementów transformacji z układu współrzędnych obiektu do układu współrzędnych płowych, gdy znane są pewne szczególne geometryczne cechy obiektów. W pracy podano teoretyczne podstawy rozwiązania. Opracowany komputerowy program pozwolił na sprawdzenie poprawności przyjętego rozwiązania. Przedstawiony przykład pokazuje zastosowanie tej metody w rekonstrukcji obiektów.

1. Wstęp

W celu wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia wymagany jest pomiar współrzędnych płowych i współrzędnych terenowych odpowiedniej liczby punktów. Z tego powodu automatyzacja wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej jest niezwykle trudna do realizacji i może mieć miejsce tylko dla pewnych szczególnych przypadków.

Gdy bierzemy pod uwagę zdjęcia lotnicze automatyzacja może dotyczyć:

- identyfikacji szczegółów lub znaków sygnalizacyjnych punktów na zdjęciu, gdy posiadamy ich współrzędne oraz opis wektorowy [Drewniak, Rohr 1996], [Pedersen 1996];
- identyfikacji szczegółów lub obszarów na zdjęciu gdy posiadamy ich współrzędne oraz obraz rastrowy [Höhle J., 1999].

Dla zdjęć naziemnych istnieją przypadki, gdy posiadając pewną wiedzę o obiektach i korzystając z własności rzutu środkowego można wyznaczyć współczynniki transformacji rzutowej z układu współrzędnych obiektu do układu współrzędnych płowych [Förstner, Gülch 1997]. Współczynniki transformacji z układu współrzędnych terenowych do układu współrzędnych płowych uzyskamy, gdy wyznaczymy jeszcze przekształcenie afiniczne w przestrzeni trójwymiarowej z układu współrzędnych terenowych do układu współrzędnych obiektu i dokonamy złożenia obu przekształceń.

Do wyznaczenia współczynników przekształceń będzie wykorzystywana wiedza o liniach prostych wskazanych na obrazie. Rozpatrzmy najpierw przypadek,

gdy dane są trzy proste leżące w jednej płaszczyźnie dwie są równoległe. Zagadnienie to było rozpatrywane w literaturze [Förstner, Gülch 1997], jednakże przedstawione rozwiązanie nie jest wyczerpujące. Następnie rozszerzymy rozważania na przypadek, gdy dana jest jeszcze płaszczyzna prostopadła do prostych równoległych. W praktyce sytuacja taka może mieć miejsce, gdy na zdjęciu mamy zarejestrowane dwie ściany budynku. Stąd zastosowanie rozwiązania może mieć miejsce w rekonstrukcji budynku [Paszotta 1997] [Müller 1998].

2. Sformułowanie problemu

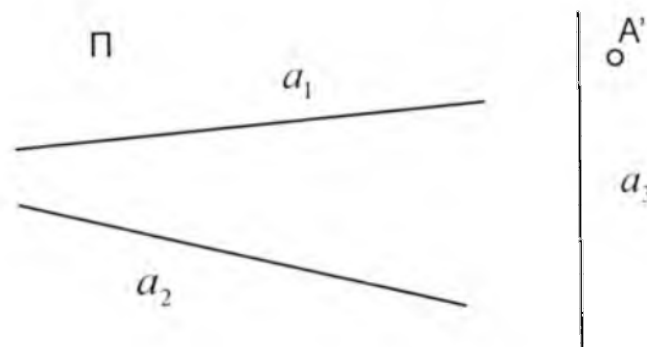
Informacje o obiektach, których rzuty środkowe na płaszczyznę Π są dane przedstawimy w sposób sformalizowany.

Dane są: kartezjański prostokątny układ współrzędnych O_{xyz} o początku w środku rzutów,

płaszczyzna Π o równaniu $z - c = 0$, gdzie c - stała kamery;

proste $a_1 \in \Pi, a_2 \in \Pi, a_3 \in \Pi$ (rys. 1.).

punkt $A' \in \Pi$



Rys. 1. Ilustracja założeń.

Zagadnienie 1 – Wyznaczenie płaszczyzn

Oznaczmy przez α_i płaszczyznę przechodzącą przez punkt O i prostą a_i , gdzie $i=1,2,3$. Niech β będzie płaszczyzną posiadającą krawędzie k_i z płaszczyznami α_i :

$$k_i = \alpha_i \cap \beta$$

Wyznaczyć płaszczyznę β taką że:

$$k_1 \parallel k_2 \text{ i } \angle(k_3, k_1) = \varphi.$$

Wyznaczyć płaszczyznę $\gamma \perp k_1$ przechodzącą przez punkt A należący do płaszczyzny β .

Zagadnienie 2 – Wyznaczenie współczynników transformacji

Niech $P' \in \Pi$ jest obrazem punktu $P \in \beta$ w rzucie środkowym o środku w punkcie $O(0,0,0)$.

Wykorzystując punkty płaszczyzn β i γ wyznaczyć współczynniki przekształcenia rzutowego przestrzeni na płaszczyznę Π .

Wyznaczyć współczynniki przekształcenia rzutowego płaszczyzny na płaszczyznę przyporządkowującego punktom płaszczyzny β punkty płaszczyzny Π .

Wyznaczenie płaszczyzn

Obieramy punkty

$$P'_1 \in a_1, P'_2 \in a_1, P'_3 \in a_2, P'_4 \in a_2, P'_5 \in a_3, P'_6 \in a_3 \quad (1)$$

Jeżeli $\vec{r}_i = \vec{OP}'_i, \quad i=1,2,\dots,6$

oraz $\mathbf{n}^{(1)} = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2,$

$$\mathbf{n}^{(2)} = \mathbf{r}_3 \times \mathbf{r}_4,$$

$$\mathbf{n}^{(3)} = \mathbf{r}_5 \times \mathbf{r}_6,$$

to mamy, że:

$$\mathbf{n}^{(i)} \perp \alpha_i, \quad i=1,2,3.$$

Wektor \mathbf{v}_1 równoległy do płaszczyzny β można wyliczyć z iloczynu wektorowego

$$\mathbf{v}_1 = \mathbf{n}^{(1)} \times \mathbf{n}^{(2)} \quad (2)$$

a wektor prostopadły do wektorów \mathbf{v}_1 i $\mathbf{n}^{(3)}$

$$\mathbf{v}_2 = \mathbf{v}_1 \times \mathbf{n}^{(3)} \quad (3)$$

W przypadku gdy $k_3 \perp k_1$ równanie płaszczyzny β jest postaci

$$(\mathbf{v}_2 \times \mathbf{v}_1) \mathbf{r} - \mathbf{c} = \mathbf{0} \quad (4)$$

Dla kąta różnego od $\Pi/2$ szukaną płaszczyznę wyznaczymy z pęku płaszczyzn.

Wektor prostopadły do dowolnej, wyznaczonej przez wartość parametru l , płaszczyzny pęku w którym znajduje się płaszczyzna β ma postać

$$\mathbf{v}_3 = \begin{bmatrix} l n_x^{(1)} + n_x^{(2)} \\ l n_y^{(1)} + n_y^{(2)} \\ l n_z^{(1)} + n_z^{(2)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

i wektor kierunkowy \mathbf{m} krawędzi k_3 można wyznaczyć z iloczynu wektorowego

$$\mathbf{m} = \mathbf{n}^{(3)} \times \mathbf{v}_3. \quad (6)$$

Ponieważ ma być, że $\angle(k_1, k_3) = \varphi$, zatem parametr l należy wyznaczyć z równania

$$\cos(\varphi) = \frac{\mathbf{v}_1 \mathbf{m}}{|\mathbf{v}_1| |\mathbf{m}|}. \quad (7)$$

Równanie szukanej płaszczyzny β otrzymamy podstawiając l do równania pęku płaszczyzn

$$\mathbf{v}_3 \mathbf{r} - c = 0 \quad (8)$$

Równanie płaszczyzny γ ma postać

$$\mathbf{v}_l(\mathbf{r} - \mathbf{r}_A) \equiv 0 \quad (9)$$

gdzie $\mathbf{r}_A = \vec{OA}$.

Wyznaczenie przekształceń

Zapiszemy równanie płaszczyzny β w postaci

$$z = f(x, y)$$

Na płaszczyźnie β określimy prostokątny układ współrzędnych OXY.

Niech początek układu ma współrzędne (w układzie współrzędnych kamery) równe

$$(x_0, y_0, z_0), \text{ gdzie } z_0 = f(x_0, y_0).$$

Osie układu niech będą równoległe odpowiednio do prostej k_1 i k_2 .

Wyznamy współrzędne punktu $P(x_1, y_1, z_1)$ leżącego na płaszczyźnie β w układzie współrzędnych OXY. Oś OX ma w układzie współrzędnych kamery równanie

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + t \mathbf{m}_1, \quad (10)$$

$$\text{gdzie: } \mathbf{r}_0^T = [x_0, y_0, z_0], \quad \mathbf{m}_1 = \frac{\mathbf{v}_1}{|\mathbf{v}_1|}.$$

Rzut prostokątny P_x punktu P na oś OX wyznaczmy jako punkt wspólny prostej (10) i płaszczyzny

$$\mathbf{m}_1(\mathbf{r} - \mathbf{u}_1) = 0, \quad \text{gdzie } \mathbf{u}_1^T = [x_1, y_1, z_1]. \quad (11)$$

Z równań (10) i (11) otrzymujemy, że

$$t = \frac{\mathbf{m}_1(\mathbf{u}_1 - \mathbf{r}_0)}{|\mathbf{m}_1|^2} = \mathbf{m}_1(\mathbf{u}_1 - \mathbf{r}_0) \quad (12)$$

Ponieważ współrzędne punktu P wyznacza się za pomocą długości rzutów odcinka \overline{OP} na osie układu współrzędnych zatem współrzędne punktu P są następujące:

$$\begin{aligned} Y &= \text{sgn} |\overline{PP_x}| \\ X &= \text{sgn} |\overline{OP_x}|, \end{aligned} \quad (13)$$

gdzie znak sgn zależy od położenia punktu względem osi.

Ponieważ wektor \mathbf{m}_1 jest wektorem jednostkowym zatem z równania (10) wynika, że

$$|\overline{OP_x}| = t \quad (14)$$

$$\text{i wtedy } |\overline{PP_x}| = \sqrt{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0)^2 - t^2}.$$

Uzyskane w ten sposób wartości pozwalają wyznaczyć szukane współrzędne (13).

W celu wyznaczenia współczynników transformacji potrzebna jest odpowiednia liczba punktów. Oznaczmy przez b_i prostą przechodzącą przez punkt O oraz punkt P_i' , czyli prostą o równaniu

$$\mathbf{r} = t_i \mathbf{r}_i, \quad i=1,2,3,4.$$

Przez P_i' oznaczmy punkt przecięcia płaszczyzny β prostą b_i , określony za pomocą współrzędnych XY . Współrzędne punktów P_i' i P_i mogą nam posłużyć do wyznaczenia współczynników przekształcenia rzutowego płaszczyzny na płaszczyznę.

Jeżeli dodamy oś OZ oraz wyznaczmy równanie płaszczyzny γ w tym układzie, to możemy wyznaczyć również obraz A_i' dowolnego punktu A_i w rzucie środkowym na tą płaszczyznę. Korzystając z punktów P' i P oraz A_1', A_1, A_2', A_2 możemy wyznaczyć współczynniki przekształceń rzutowych przestrzeni na płaszczyznę.

3. Przykład

Dane jest zdjęcie budynku z terenu osiedla Kortowo II. Na obiekcie tym można wyróżnić dwie proste równoległe (linie okien wzdłuż budynku) i jedną prostą prostopadłą (rynna z prawej strony budynku) do nich.



Rys. 2. Zdjęcie wykonane aparatem cyfrowym Polaroid PDC2000.

W tabeli 1 zawarte są pikselowe współrzędne punktów, które zgodnie z oznaczeniami (1) wyznaczają te linie.

Tabela 1. Współrzędne punktów na zdjęciu.

Nr punktu	x	y
1	-202	24
2	142	50
3	-203	-28
4	140	-26
5	204	63
6	201	-63

Korzystając z własności wyprowadzonych poprzednio wyznaczono płaszczyznę β taką, że rzuty prostych a_1 i a_2 są równoległe a rzut prostej a_3 jest prostopadły do rzutów prostych a_1 i a_2 . Na płaszczyźnie β wprowadzono prostokątny układ współrzędnych. Pikselowe współrzędne X,Y rzutów punktów z tabeli 1 podane są w tabeli 2.

Tabela 2. Współrzędne punktów na płaszczyźnie β .

Nr punktu	X	Y
1	62.7	285.8
2	429.9	285.8
3	64.6	221.5
4	429.9	221.5
5	472.6	292.5
6	472.6	191.8

Następnie wyznaczono współczynniki przekształcenia rzutowego

$$x = \frac{AX + BY + C}{DX + EY + 1} \qquad y = \frac{FX + GY + H}{DY + EY + 1}$$

Wyniki były następujące:

$$\begin{aligned} A &= 0.78117 & B &= 0.02556 & C &= -249.96998 \\ D &= -0.00082 & E &= 0.00004 & & \\ F &= 0.02667 & G &= 0.77425 & H &= -199.97196 \end{aligned}$$

W celu wyznaczenia obszaru rektyfikacji pomierzono współrzędne x, y wierzchołków ściany, a następnie korzystając z przekształcenia odwrotnego wyznaczono ich współrzędne X, Y . Wynik rektyfikacji przedstawia rysunek poniżej.



Rys. 3. Fragment obrazu z obiektem po rektyfikacji.

Wykorzystanie wiedzy o geometrycznych cechach obiektów do wyznaczenia elementów orientacji jest zagadnieniem trudnym do sformalizowania oraz zautomatyzowania. Przedstawione rezultaty pozwalają sądzić że praktyczne rozwiązania znajdują zastosowanie w metodach rekonstrukcji obiektów.

Literatura

1. Drewniok C., Rohr K., 1996, Automatic Exterior Orientation of Aerial Images in Urban Environments. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXI part B3 pp. 146-152.
2. Förstner W., Gülch E., 1997, Automatic Orientation and Recognition in Highly Structured Scenes. Institute for Photogrammetry, University of Bonn. Unpublished.
3. Höhle J., 1999, Automatic Orientation by Means of Existing Orthoimages – Proposal for a Solution. *Newsletter OEEPE* 1999, No 1.
4. Müller H., 1998, Object-Oriented Modeling for the Extraction of Geometry, Texture and Reflectance from Digital Images. Institute for Photogrammetry, University of Bonn. Proceedings of ISPRS Commission IV Symposium, Stuttgart, Germany, September 7-10.
5. Paszotta Z., 1997, Propzycja inwentaryzacji urbanistycznej z wykorzystaniem metod fotogrametrii cyfrowej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*. Vol.6, Kraków
6. Pedersen B., 1996, Automated Measurement of Ground Control Objects in Large Scale Aerial Photographs. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXI part B3, pp. 633-637.

Autorzy

dr Zygmunt Paszotta

mgr inż. Jakub Szulwic

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

10-957 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 1

tel. (0-89) 523 47 12

fax (0-89) 523 32 10

e-mail: zygmunt.paszotta@kfit.uni.olsztyn.pl

jakub.szulwic@kfit.uni.olsztyn.pl

<http://www.kfit.uni.olsztyn.pl>

Recenzował dr hab. Romuald Kaczyński, prof. IGiK