

Zygmunt Paszotta

PROPOZYCJA INWENTARYZACJI URBANISTYCZNEJ Z WYKORZYSTANIEM METOD FOTOGRAMETRII CYFROWEJ

Streszczenie

Rastrowe rekonstrukcje obrazów obiektów przestrzennych na płaszczyźnie to temat wzbudzający obecnie duże zainteresowanie ze względu na szerokie zastosowania praktyczne jak i ciekawe aspekty teoretyczne. Autor zaproponował pewną metodę rekonstrukcji obrazów obiektów architektonicznych, która może mieć zastosowanie w procesie archiwizacji urbanistycznej. W przedstawionej metodzie rzutuje się oddzielnie kolejne powierzchnie (ściany) będące elementami obrazu obiektu. Podziału na powierzchnie dokonuje się za pomocą płaszczyzn. Obrazy powierzchni rejestrowane są w postaci cyfrowej również oddzielnie. Ostateczny obraz obiektu uzyskuje się po określeniu parametrów rzutowania.

1. Wprowadzenie

Zadaniem inwentaryzacji architektonicznej jest wiernie zobrazowanie istniejącego układu przestrzennego, struktury funkcjonalnej i technicznej oraz wystroju zespołu obiektów architektonicznych, pojedynczych obiektów lub ich części [Sitek 1991].

Może ona obejmować pojedyncze obiekty lub całe zespoły urbanistyczno-architektoniczne. Wyniki prac inwentaryzacyjnych przedstawia się w formie graficznej, fotograficznej i opisowej. Zasobami informacyjnymi, które należy zgromadzić są: mapa sytuacyjna, przekroje i rzuty budynków, mapa inwentaryzacyjna zieleni, widok połączeń dachowych, elewacje, pierzeje itp.

Pomiary obiektów dokonuje się trzema metodami: bezpośrednią, geodezyjną lub fotogrametryczną. Zakres prac jakie możemy wykonać stosując metody fotogrametryczne jest różny. Zależy głównie od tego czy korzystamy z metod fotogrametrii jednoobrazowej czy z metod fotogrametrii dwuobra-

zowej. Fotogrametryczna realizacja pomiarów metodami analogowymi lub analitycznymi jest skomplikowana. Obecny rozwój fotogrametrii cyfrowej pozwala na wykonanie wielu prac z zakresu inwentaryzacji urbanistycznej przy użyciu komputera. Ich wynikiem może być wykonanie inwentaryzacji wycinkowej z takimi jej elementami, jak: wykonanie DTM wraz ortofotografią terenu, rzuty połaci dachowych, rzuty ścian budynków, szkieletowy model budynku. W tym artykule nie będziemy zajmować się tworzeniem DTM oraz generowaniem rastrowego obrazu powierzchni topograficznej w rzucie ortogonalnym [Paszotta, Jędrzycka 1996], lecz zajmiemy się metodą rekonstrukcji obiektów architektonicznych. Polega ona na podziale bryły obiektu na powierzchnie które rzutuje się w procesie rekonstrukcji całego obiektu. Model przestrzenny budynku tworzy się, poprzez wyznaczenie współrzędnych jego wybranych punktów, posługując się metodami fotogrametrii dwuobrazowej. Wykorzystaniem fotogrametrii jednoobrazowej do tych celów zajmowali się Braun (1994) oraz Lang i Förstner (1996). Znany jest też projekt systemu rekonstrukcji budynków za pomocą płaszczyzn ale z automatycznym wyznaczaniem przestrzennego modelu budynków [Henricsson inni (1996)].

Poszczególne segmenty przedstawionej w tym artykule metody to realizacja znanych w fotogrametrii technologii przy użyciu programów pozwalających na wykonanie pewnych ich elementów przez komputer. Do opisu bryły budynku zastosowano model szkieletowy. Do przedstawienia rzutów ścian budynków metody przetwarzania obrazów rastrowych. Uzyskane za soby informacji zostały zgromadzone w postaci tabel bazy danych.

Wszystkie programy napisane zostały w języku Delphi 2.0. Do opracowania przykładu wykorzystano lotnicze barwne zdjęcia okolic Olsztyna wykonane jesienią 1995 roku kamerą RC-10 oraz obrazy naziemne rejestrowane kamerą video CCD-TR780E. Diapozytywy zdjęć w skali 1:5000 skanowano z rozdzielczością 1000 dpi. Obrazy naziemne zapisywano w postaci cyfrowej przy pomocy karty Movie Machine II. W stosunku do poprzednich opracowań przy przetwarzaniu obrazów rastrowych zrezygnowano z formatu TIFF na rzecz formatu BMP. W tym formacie wizualizowano anaglifowy model przestrzenny oraz rzuty ścian budynków.

2. Opis metody

Etapy postępowania oraz zależności między blokami funkcyjnymi przedstawia rysunek 1.

Metody wyznaczania elementów orientacji wzajemnej i bezwzględnej dla zdjęć zapisanych cyfrowo nie wymagają opisu. Wyjaśnienia jednak wymaga sposób pomiaru współrzędnych punktów w układzie pikselowym. Oprogramowane zostały dwie metody.



Rys.1. Schemat procesu rekonstrukcji obrazu.

1. Niezależne wyznaczanie przez sygnalizację punktu na każdym obrazie za pomocą kursora.
2. Metoda korelowania otoczenia wyznaczonego punktu, z możliwością określania wielkości tego otoczenia. Mamy tutaj również opcję automatycznego wyznaczania różnic między współrzędnymi na obu obrazach przy maksymalnej wartości współczynnika korelacji, albo opcję wyznaczania współczynnika korelacji między poziomami cyfrowymi dla zadanego położenia środków otoczeń.

Celem metody jest rekonstrukcja obrazu budynku w określonym rzucie przy zadanych parametrach rzutowania.

Istotą metody jest podział bryły budynku za pomocą wielokątów płaskich. Jeżeli ściana ograniczona tym wielokątem jest płaszczyzną to do przedstawienia jej obrazu rastrowego potrzebne jest przekształcenie rzutowe płaszczyzny na płaszczyznę:

$$x = \frac{Ax' + By' + C}{Ex' + Fy' + 1}, \quad (1)$$

$$y = \frac{Dx' + Ey' + F}{Gx' + Hy' + 1}$$

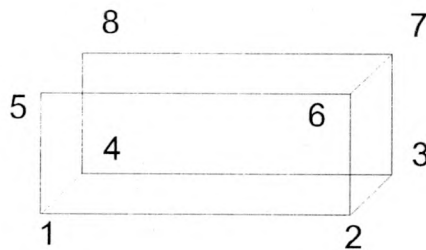
Do wyznaczenia parametrów tego przekształcenia potrzeba co najmniej czterech punktów. Współrzędne pikselowe x',y' punktów kontrolnych mierzymy na rastrowym, komputerowym obrazie ściany. Współrzędne pikselowe x,y obliczane są jako wynik rzutowania punktu o współrzędnych terenowych X,Y,Z na płaszczyznę będącą rzutnią, przy zadanych parametrach rzutowania.

Jeżeli nie możemy przyjąć, że pewna powierzchnia jest płaszczyzną to w celu jej przedstawienia w określonym rzucie musimy znać jej przestrzenny matematyczny opis. Dla stworzenia takiego cyfrowego modelu przestrzennego możemy wykorzystać naziemne obrazy zbieżne [Shan 1996] oraz metody tworzenia obrazu stosowane przy budowie ortofotografii cyfrowej.

3. Analiza obrazu

Obliczone na podstawie stereogramu współrzędne X,Y,Z punktów w lokalnym układzie współrzędnych zapisywane są w tabeli, Tabl. Współrzędne te mogą być uzyskane również drogą bezpośredniego pomiaru w terenie. Ponieważ istotą metody jest podział każdej bryły na ściany, dlatego tworzymy tabelę ścian, Tab_s, której elementami są między innymi numery punktów z Tab_pXYZ. Tabela ścian wypełni się automatycznie jeżeli wybierzemy rodzaj bryły oraz w tablicy, Tab_w określimy numery wierzchołków, które są potrzebne do jej zbudowania.

Dla przykładowej bryły z rysunku 2, tabele Tab_pXYZ i Tab_s przedstawia tablica 1 i tablica 2.



Rys. 2. Szkieletowy model bryły.

Tablica 1.

Współrzędne punktów w układzie lokalnym - Tab_pXYZ.db.

Nr pkt	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	0.00	0.00	120.20
2	37.18	17.33	120.20
4	-4.20	9.02	120.20
5	0.00	0.00	135.26

Tablica 2.

Tabela ścian - Tab_s.db.

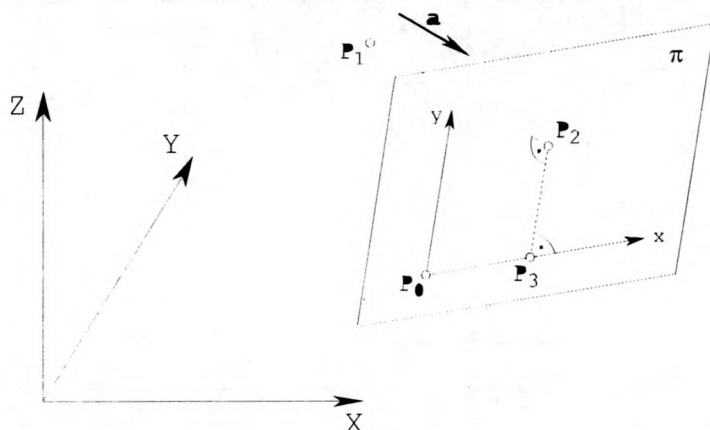
Nr ściany	W1	W2	W3	W4	tab punktów	obraz
1	1	2	3	4		
2	1	2	6	5	Pktsc2.db	sc2.bmp
3	2	3	7	6	Pktsc3.db	sc3.bmp
4	3	4	8	7		
5	1	4	8	5	Pktsc5.db	sc5.bmp
6	5	6	7	8		

W przedstawionej tablicy Pktsc.db oznacza tabelę bazy danych zawierającą punkty kontrolne do transformacji ściany za pomocą przekształcenia rzutowego a sc.bmp zbiór rastrowy zawierający obraz ściany.

4. Rekonstrukcja obrazu

Wyznaczenie rastrowego obrazu budynku wymaga określenia parametrów rzutowania. Określimy je przyjmując następujące założenia (rys.3):

- płaszczyzna π , na którą rzutujemy jest prostopadła do kierunku rzutów \mathbf{a} ,
- rzutnia π przechodzi przez punkt $P_0(X_0, Y_0, Z_0)$, który jest początkiem prostokątnego układu współrzędnych na rzutni,
- oś x układu współrzędnych na rzutni jest równoległa do płaszczyzny XY lokalnego układu współrzędnych.



Rys. 3. Rzut punktu P_1 obiektu na płaszczyznę π .

Przyjmijmy następujące oznaczenia:

$P_1(X_1, Y_1, Z_1)$ rzutowany punkt obiektu,

$P_2(X_2, Y_2, Z_2)$ rzut prostokątny punktu P_1 na płaszczyznę π ,

$P_3(X_3, Y_3, Z_3)$ rzut prostokątny punktu P_2 na oś x w płaszczyźnie π
 x, y współrzędne punktu P_2 w układzie współrzędnych rzutni

$$\mathbf{R}_0 = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix},$$

wtedy współrzędne punktu P_2 wyznaczamy z układu równań:

$$(\mathbf{R} - \mathbf{R}_0)^T \mathbf{a} = 0,$$

(2)

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_1 + t\mathbf{a};$$

współrzędne punktu P_3 z równań:

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{R}-\mathbf{R}_0)^T \mathbf{a} &= 0, \\
 Z &= Z_0, \\
 \mathbf{a}^T (\mathbf{R} \times [0,0,1]) &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Ostatecznie współrzędne x, y są równe

$$\begin{aligned}
 x &= \text{sgn1} |\mathbf{R}_3 - \mathbf{R}_0|, \\
 y &= \text{sgn2} |\mathbf{R}_2 - \mathbf{R}_3|,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

gdzie:

sgn1 i **sgn2** przyjmują wartości +1 lub -1 w zależności od położenia punktu P_2 względem osi układu współrzędnych xy ;

$\mathbf{R}_2, \mathbf{R}_3$ są wektorami wodzącymi punktów P_2, P_3 .

Obliczenie współrzędnych w układzie współrzędnych na rzutni nie jest zatem zadaniem skomplikowanym.

Nich ω będzie kątem między wektorem \mathbf{a} i płaszczyzną XY a φ kątem między rzutem tego wektora na płaszczyznę XY a osią Y . Dla rzutu prostokątnego w kierunku określonym za pomocą kąta nachylenia φ równego 11.5° i kąta zwrotu 90° współrzędne punktów z tablicy 1 w nowym układzie współrzędnych na płaszczyźnie przyjęły wartości x, y podane w tablicy 3. Zastosowano skalę 1:300 uwzględniając aktualne parametry środowiska graficznego komputera.

Tablica 3.

Punkty kontrolne do przekształcenia rzutowego - Pkts3.db

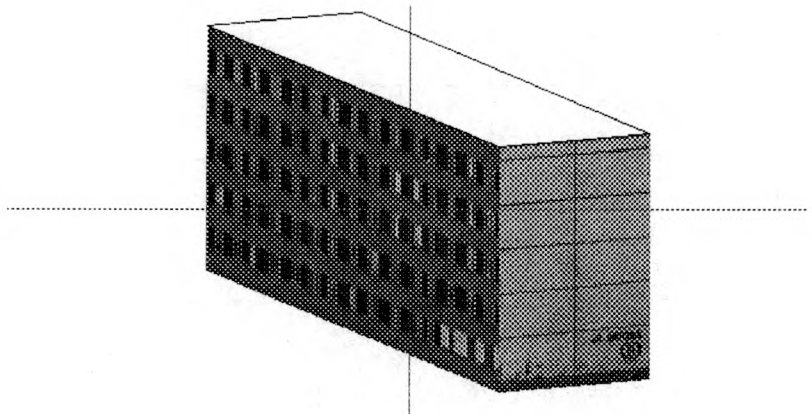
Nr pkt	x (piksele)	y (piksele)	x' (piksele)	y' (piksele)
2	67	-138	202	416
3	180	-128	471	400
6	67	47	185	6
7	180	57	443	15

Współrzędne x', y' tych punktów zostały pomierzone na obrazie przedstawionym na rysunku 4.



Rys. 4. Obraz ściany zapisany w zbiorze sc3.bmp.

Na podstawie współrzędnych punktów kontrolnych z tablicy 3 obliczono współczynniki A, B, \dots, H przekształcenia rzutowego (1). Współczynniki te określają przekształcenie, które należy zastosować przy rekonstrukcji kolejnej ściany. Krawędzie każdej z nich wyznaczone są za pomocą punktów wierzchołkowych, których współrzędne powinny znajdować się w tabeli, Tab_pk.db - tablica 3. Wizualizacja kolejnych ścian odbywa się tak, aby w efekcie na ekranie uzyskać obraz powierzchni widocznych w danym rzucie. Końcowy efekt przedstawiony jest na rysunku 5.



Rys. 4. Obraz wybranych ścian w zadanym rzucie.

5. Zakończenie

Gromadzenie i przetwarzanie informacji o terenie pozyskanych metodami fotogrametrii cyfrowej wymaga stosowania odpowiednio sprawnego środowiska do budowania programów. Odpowiednim systemem jest środowisko kompilatora języka Delphi. Można w nim sprawnie oprogramować algorytmy grafiki wektorowej i rastrowej oraz komunikować się z bazą danych. W stosunku do innych kompilatorów skrócił się czas budowy programów przy zachowaniu ich walorów funkcjonalnych.

Realizacja algorytmów fotogrametrii cyfrowej wymaga stosowania nowoczesnego sprzętu oraz oprogramowania.

Zbudowanie odpowiedniego logicznie jasnego systemu obsługi programu jest skomplikowane. Algorytmy dotyczą często trudnych, od strony teoretycznej, zagadnień wymagających od użytkownika wiedzy z różnych dziedzin. Kłopotliwe jest oprogramowywanie niezliczonej liczby opcji w programach z wykluczeniem ich użycia w różnych sytuacjach wyjątkowych.

Opisywane w artykule obrazy były barwne. Aplikacja była realizowana w środowisku Windows 95 w trybie 800x600 pikseli i 65 tys. kolorów. Czas rekonstrukcji budynku w postaci przedstawionej na rysunku 5 łącznie z wyznaczaniem współczynników przekształceń rzutowych wynosił kilka sekund.

Literatura

1. Braun C. (1994): Interpretation and Correction of Single Line drawings for the Reconstruction of Object in Space. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Comm. III Munich.
2. Henricsson O., Bignone F., Willuhn W., Ade F., Kübler O. (1996): Project AMOBE: Strategies, Current Status and Future Work. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3. Vienna.
3. Lang F., Förstner W. (1996) 3D-City Modeling with a Digital One-Eye Stereo System. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3. Vienna.
4. Paszotta Z., Jędryczka R. (1996): Basis of Orthoimage Generation Method. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3. Vienna.
5. Shan J. (1996): An algorithm for object reconstruction without interior orientation. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 51.
6. Sitek Z. (1991): Fotogrametria ogólna i inżynierska. PPWK Warszawa-Wrocław.

**PROPOSAL OF MAKING AN URBAN INVENTORY WITH
APPLICATION OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY METHODS**

Summary

Task of raster reconstruction of spatial objects at a plane is a subject raising great interest, because of its wide practical applications as well as interesting theoretical aspects. The author has proposed a certain method of reconstruction of architectural object images, that can be applied in the process of urban archiving. In the presented method, successive surfaces (walls) constituting elements of the object image, are projected separately. Division of the object into such surfaces is performed using chosen planes. Images of surfaces are recorded in digital form, also separately. Final image of the object is obtained after determination of the projection parameters.

Recenzował: Prof.dr hab. inż. Kazimierz Sikorski