

METODA STEREOFOTOGRAMETRYCZNEGO OPRACOWANIA OBRAZÓW REM

Oleg Iwanczuk

Instytut Geodezji Politechniki Lwowskiej

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji

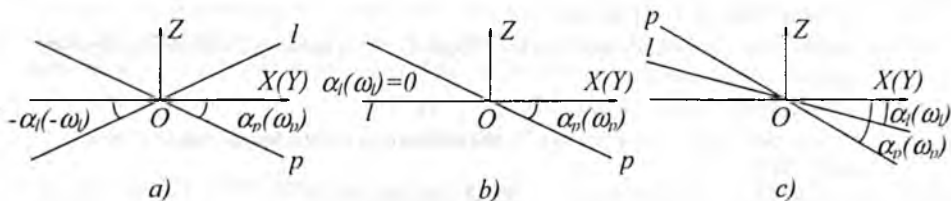
ul. St. Bandery 12, 79013 Lwów

e-mail: ivanchuk@inbox.ru

Lwów — Ukraina

Dzisiejszy wysoki poziom nowoczesnych technologii otrzymywania i opracowywania materiałów w wielu dziedzinach nauki i techniki, mianowicie w: materiałoznawstwie, mikroelektronice, budowie maszyn i urządzeń, biologii i medycynie, i w wielu innych, potrzebuje dokładnych badań tych materiałów i otrzymania cyfrowej informacji o ich mikropowierzchni. Jej otrzymanie możliwe jest za pomocą rastrowych mikroskopów elektronowych (REM) i metody fotogrametrycznego opracowania obrazów REM. Teoretycznymi i praktycznymi zasadami REM-stereofotogrametrii zajmowało się wielu naukowców, między innymi W. Melnyk, A. Szostak, W. Wołoszyn (Ukraina), J. Wysocki (Polska), A. Boyde, Brown, S. K. Ghosh, D. F. Maunc, I. F. Nankivell (USA), R. Burkhardt, J. H. Helmeke, K. Hubeny (Niemcy), H. N. Nagaraja (Japonia), I. Garelik, P. Gonczarow, E. Kalantarow (Rosja) i wielu innych.

W praktyce stereoobrazy REM można otrzymać trzema głównymi sposobami (rys. 1). Dwa REM — stereoobrazy badanej powierzchni otrzymujemy przy dwóch położeniach goniometrycznego stolika REM, do którego przykleja się specjalnie opracowany i napyłony cienką warstwą złota materiał. W pierwszym sposobie lewe zdjęcie otrzymujemy przy pochyleniu stolika wokół osi Y o kąt $-\alpha_l$, a prawe — o kąt α_p ($\alpha_l = \alpha_p$, $\omega = \kappa = 0''$). W drugim przypadku lewe zdjęcie otrzymujemy przy poziomym położeniu stolika ($\alpha_l = 0''$), a prawe przy pochyleniu stolika o kąt $\alpha_p = 6^\circ - 12^\circ$. W trzecim przypadku - przy dwóch pochyleniach stolika między którymi kąt $\Delta\alpha = 6^\circ - 12^\circ$, który ustala się w zależności od wielkości mikrorzeźby powierzchni: czym większa mikrorzeźba tym mniejszy kąt.



Rys.1. Sposoby otrzymania stereoobrazów REM: a) symetryczne nachylenia; b) przypadek prostopadło-zbieżny; c) zbieżny

Proponowana metoda stereofotogrametrycznego opracowania obrazów REM polega na wykonaniu następujących etapów:

- 1) skanowanie obrazów na fotogrametrycznym skanerze;

- 2) stereoskopowe pomiary cyfrowych obrazów na cyfrowej stacji CFS „Delta”(Winnica, Ukraina);
- 3) opracowanie pomiarów wg podanych wzorów dla jednego z wymienionych wyżej trzech przypadków i otrzymanie przestrzennych współrzędnych punktów badanej mikro-powierzchni jako jej model cyfrowy;
- 4) opracowanie w programie SURFER mikro-powierzchni w postaci graficznej: mikro-planów z warstwicami, profili lub widoków w rzucie aksonometrycznym

Poniżej podane wzory ujmują zależności pomiędzy przestrzennymi współrzędnymi punktów badanej mikro-powierzchni XYZ a ich pomierzonymi współrzędnymi punktów x, y , (które powinny być poprawione o geometryczne zniekształcenia $\Delta x, \Delta y$), oraz obliczone powiększenia obrazów — REM M_x, M_y i ustalonego kąta nachylenia goniometrycznego stolika $-\alpha_l = \alpha_p$ dla pierwszego sposobu otrzymania stereoobrazów REM:

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{x_l^o + \Delta p_x^o / 2}{M_x \cdot \cos \alpha} \cdot 10^3 \\ Y &= \frac{y_l^o}{M_y} \cdot 10^3 \\ Z(h) &= \frac{\Delta p_x^o}{2M_x \cdot \sin \alpha} \cdot 10^3 \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

gdzie:

$$\left. \begin{aligned} x_l^o &= x_{l_{pom}} + \Delta x_l, \quad \Delta p_{x_l}^o = p_{x_l}^o - p_o \\ y_l^o &= y_{l_{pom}} + \Delta y_l, \quad \Delta p_{y_l}^o = x_{l_i}^o - x_{i_p}^o \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Za pomocą specjalnych siatek testowych można wyznaczyć parametry prawdziwych powiększeń obrazów — REM M_x, M_y , a także wielkości geometrycznych zniekształceń ich współrzędnych punktów $\Delta x, \Delta y$, jakie najlepiej można opisać wielomianem trzeciego stopnia:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_l &= a_0 + a_1 x_l + a_2 y_l + a_3 x_l y_l + a_4 x_l^2 + a_5 y_l^2 + a_6 x_l^3 + a_7 x_l^2 y_l + a_8 x_l y_l^2 + a_9 y_l^3 \\ \Delta y_l &= b_0 + b_1 x_l + b_2 y_l + b_3 x_l y_l + b_4 x_l^2 + b_5 y_l^2 + b_6 x_l^3 + b_7 x_l^2 y_l + b_8 x_l y_l^2 + b_9 y_l^3 \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

We wzorach 1.1 – 1.3 przyjęto następujące oznaczenia:

$X, Y, Z(h)$ — przestrzenne współrzędne punktu badanej mikro-powierzchni, μm ;

$x_{l_{wym}}, y_{l_{wym}}$ — pomierzone na CFS lub na stereokomparatorze (SK) współrzędne punktu na lewym zdjęciu — REM, mm;

x_l^o, y_l^o — poprawione o geometryczne zniekształcenia $\Delta x, \Delta y$ współrzędne punktu na lewym zdjęciu — REM, mm;

a_i, b_i — współczynniki wielomianu ($i = 0, 1, 2, \dots, 9$);

Δp_i^o — różnice paralaks i -tego punktu p_i^o i początkowego (centralnego) punktu obrazu — REM p_o , mm;

M_x, M_y — powiększenia (skala) obrazów — REM wzdłuż osi x, y ;

$-\alpha_l = \alpha_p$ — kąty nachylenia goniometrycznego stolika wokół osi Y stolika przy otrzymywaniu lewego i prawego stereoobrazu REM.

Dla przypadku prostopadło-zbieżnego otrzymania stereobrazów REM, który najczęściej się stosuje, w praktyce wzory mają postać (2):

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{x_i^o}{M_x} \cdot 10^3 \\ Y &= \frac{y_i^o}{M_y} \cdot 10^3 \\ Z(h) &= \frac{x_i^o \cdot (1 - \cos \alpha_p) + \Delta p_x^o}{M_x \cdot \sin \alpha_p} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Dla przypadku zdjęć zbieżnych wzory będą miały postać (3):

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{(x_i^o / M_x) \cdot 10^3 - h \cdot \sin \alpha_l}{\cos \alpha_l} \\ Y &= \frac{y_i^o}{M_y} \cdot 10^3 \\ Z(h) &= \frac{(x_i^o + \Delta p_x^o) \cdot \cos \alpha_l - x_i^o \cdot \cos \alpha_p}{M_x \cdot \sin(\alpha_p - \alpha_l)} \cdot 10^3 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Dokładność metody zależy od powiększenia (skali) obrazów-REM, a także parametrów mikro-rzeźby i wynosi:

- dla $M = 1000^{\times}$ i $\Delta h = 10 \mu\text{m}$ — $m_{X,Y} = 0,06-0,10 \mu\text{m}$, $m_{Z(h)} = 0,7-1,2 \mu\text{m}$;
- dla $M = 3000^{\times}$ i $\Delta h = 10 \mu\text{m}$ — $m_{X,Y} = 0,02-0,03 \mu\text{m}$, $m_{Z(h)} = 0,3-0,6 \mu\text{m}$;
- dla $M = 10000^{\times}$ i $\Delta h = 10 \mu\text{m}$ — $m_{X,Y} = 0,006-0,010 \mu\text{m}$, $m_{Z(h)} = 0,1-0,3 \mu\text{m}$;
- dla $M = 25000^{\times}$ i $\Delta h = 1 \mu\text{m}$ — $m_{X,Y} = 0,003-0,005 \mu\text{m}$, $m_{Z(h)} = 0,02-0,06 \mu\text{m}$;

Streszczenie

W artykule przedstawiono fotogrametryczny sposób opracowania obrazów elektronowych mikroskopów (REM). Opisana metoda może być z powodzeniem zastosowana w wielu dziedzinach nauki i techniki, wymagających dokładnych liczbowych danych o mikropowierzchniach analizowanych elementów.

Podano wzory wyrażające zależności pomiędzy współrzędnymi przestrzennymi powierzchni i łowymi dla podstawowych przypadków wykonania zdjęć, a również zestawiono otrzymane dokładności w zależności od zakresu powiększenia obrazów REM.

Abstract

The paper presents photogrammetrical way of working up images from electronic microscopes (REM). The method described here can be applied with success in many fields of technique and science requiring precise numerical data of elements' microspheres.

The formulae shown in the paper concern the dependence between surface 3D coordinates and image coordinates for basic cases of images. At the end there is a short list of accuracies in dependence of blowup scale of REM-images.

Literatura

1. Мельник В.М. Теорія і практика фотограмметричних методів в електронно-мікроскопічних дослідженнях: Автореф. дис...докт. техн. наук.-Львів.-1995.- 51 с.
2. Мельник В.Н., Соколов В.Н., Шебашинов М.П., Іванчук О.М. Анализ погрешностей стереоизмерений в растровой электронной микроскопии // Изв. АН СССР. Сер. физическая.-1987.-№3.-С.468-474.
3. Іванчук О.М. Фотограмметричний метод оперативного опрацювання РЕМ-стереопар для кількісної оцінки мікроповерхонь твердих тіл // Вісник геодезії та картографії.-Київ,-1998.-№2.-С.51-53.
4. Іванчук О.М. Вибір оптимальних параметрів РЕМ-знімання при дослідженнях шорсткості шліфованих поверхонь твердих тіл стереофотограмметричним методом // Матеріали міжнар. наук. конф.-Львів,-2000.-С.256-259.
5. Іванчук О.М. Застосування методу фотограмметричного опрацювання РЕМ-стереопар для досліджень мікроповерхонь геологічних об'єктів та ґрунтів // Матеріали 3-ї Міжн. наук.-практ. конф.«Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика - сучасні технології і перспективи».- Краків,-2001.-С.5.11-18.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa