

JAN ZIOBRO

### **Metoda blokowego wyrównania obserwacji stereogramów o bazie czasowej do wyznaczania przemieszczeń punktów**

Zarys treści. W pracy przedstawiono metodę blokowego wyrównania obserwacji stereogramów o bazie czasowej do wyznaczania przemieszczeń punktów budowli inżynierskich, na podstawie fotogrametrycznych zdjęć naziemnych. Podane zostały teoretyczne podstawy metody oraz omówiono technologię wyznaczania przemieszczeń opartą na tej metodzie.

Prezentowana metoda i technologia o nią oparta, przeznaczone są do wyznaczania przemieszczeń punktów budowli inżynierskich na podstawie fotogrametrycznych zdjęć naziemnych. Rozwiązanie należy do klasy metod różnicowych, w którym wyrównywanymi obserwacjami są różnice współrzędnych tłowych punktu, uzyskane ze zdjęć obiektu wykonanych w dwóch różnych momentach czasu, a wyznaczanymi niewiadomymi są składowe wektora przemieszczenia punktu.

Wyznaczanie przemieszczeń punktów, będące jednym z podstawowych zadań fotogrametrii, można osiągnąć również za pomocą stereofototriangulacji blokowej, opracowując oddzielnie dwa cykle zdjęć. Jednak metoda różnicowa posiada istotne zalety w stosunku do stereofototriangulacji, którymi są:

- a) samoeliminacja z różnicy współrzędnych tłowych:
  - stałych błędów systematycznych kamery pomiarowej — błędów kalibracji kamery;
  - stałych systematycznych wpływów otoczenia — refrakcji;
- b) bezpośrednia ocena dokładności wyznaczonych składowych wektorów przemieszczenia,
- c) możliwość zastosowania sygnalizacji nieprecyzyjnej lub naturalnej, bez straty dokładności, co wynika ze stereoskopowej obserwacji stereogramów o bazie czasowej.

Dotychczasowe realizacje metody posiadają różnego rodzaju ograniczenia technologiczne takie, jak: konieczność pełnej osnowy punktów odniesienia (lub znanych elementów geometrycznych obiektu) dla każdego stereogramu, dwuetapowość wyrównania, brak pełnej oceny dokładności wyników.

Metoda, którą przedstawiam nie posiada wymienionych wad, przy za-

chowaniu wspomnianych zalet fotogrametrycznej metody różnicowej. Zostało to osiągnięte przez opracowanie takich równań obserwacyjnych, które opisują ogólny przypadek budowy stereogramu o bazie czasowej. Chodzi mianowicie o to, że poza bazą czasową, zdjęcia wykonane z danego stanowiska posiadają szczątkową bazę przestrzenną, tzn. istnieje pewna różnica elementów orientacji zewnętrznej zdjęć tworzących stereogram o bazie czasowej. Ta szczątkowa baza przestrzenna wynika bądź z niemożności dokładnego odtworzenia elementów orientacji zewnętrznej podczas kolejnych cykli zdjęciowych (dotyczy to zwłaszcza kątowych elementów orientacji zewnętrznej), bądź też z faktu przemieszczenia się stabilizowanych stanowisk kamery w okresie między cyklami pomiarowymi.

Uwzględnienie w równaniach obserwacyjnych dodatkowych niewiadomych — elementów orientacji zewnętrznej zdjęć aktualnego cyklu pomiarowego — umożliwiło z jednej strony jednoetapowe wyrównanie, a z drugiej blokowe opracowanie zespołu stereogramów o bazie czasowej. Jednoetapowość wyrównania polega na tym, że zbędny jest etap redukcji obserwacji ze względu na różnicę elementów orientacji zewnętrznej, a blokowość wyrównania obserwacji umożliwia stosowanie niepełnej osnowy punktów odniesienia dla poszczególnych stereogramów o bazie czasowej (rys. 1).

Wzory opisujące zależności w stereogramie o bazie czasowej przedstawiają się następująco:

$$1) \mathbf{k} = \mathbf{l}_0'' - \mathbf{l}_0' = \left( \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ -c'' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a'' \\ b'' \\ \text{zero} \end{bmatrix} \right) - \left( \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -c' \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a' \\ b' \\ \text{zero} \end{bmatrix} \right), \text{ otrzymany z definicji obserwacji i definicji układu współrzędnych tłowych};$$

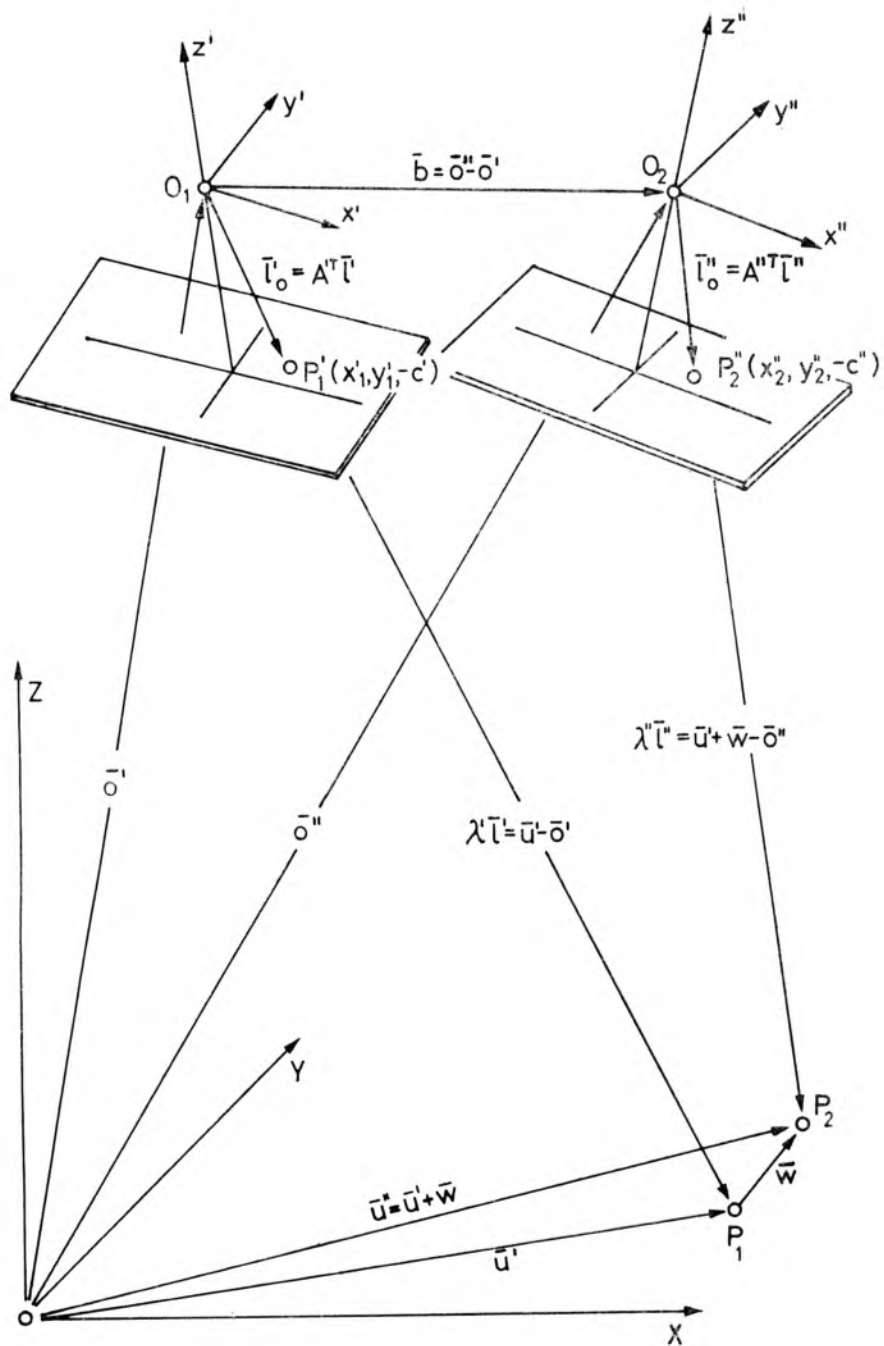
$$2) \mathbf{k} = \frac{1}{\lambda} \mathbf{A}''^T(\mathbf{u}' + \mathbf{w} - \mathbf{o}'') - \frac{1}{\lambda} \mathbf{A}'^T(\mathbf{u}' - \mathbf{o}'), \text{ otrzymany z zależności przedstawionych na rysunku 1};$$

gdzie obserwacjami są  $p = x'' - x'$  i  $q = y'' - y'$ ;

niewiadomymi są kąty  $\omega''$ ,  $\varphi''$ ,  $\kappa''$ , których funkcją są elementy ortogonalnej macierzy  $\mathbf{A}''$ , oraz wektory  $\mathbf{w}$  i  $\mathbf{o}''$ ;

stałymi są elementy orientacji wewnętrznej  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  i  $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$ , wektory  $\mathbf{u}'$  i  $\mathbf{o}'$ , oraz kąty  $\omega'$ ,  $\varphi'$ ,  $\kappa'$ , których funkcją są elementy ortogonalnej macierzy  $\mathbf{A}'$ .

Z analizy powyższych zależności wynika, że dla zapewnienia samoeliminacji błędów systematycznych kamery, zdjęcia stereogramu o bazie czasowej powinny być wykonane tą samą kamerą, a dla eliminacji błędu stałych parametrów wyrównania, zdjęcia stereogramu powinny posiadać podobną orientację zewnętrzną. Eliminację stałych systematycznych wpływów zewnętrznych można uzyskać poprzez wykonywanie zdjęć w podobnych warunkach oświetlenia i temperatury. Wymagane podobień-



Rys. 1. Stereogram o bazie czasowej  
 Fig. 1. The stereogram with the time basis

stwo orientacji zewnętrznej, wyrażone przez wielkość różnicy współrzędnych łowych punktu wynosi ok. 1 mm, co można osiągnąć bez specjalnego nakładu pracy przy wykonywaniu zdjęć.

W równaniach obserwacyjnych jako stałe wyrównania występują współrzędne terenowe punktów, elementy orientacji zewnętrznej zdjęć wyjściowego cyklu pomiarowego oraz elementy orientacji wewnętrznej kamery. Dwie pierwsze grupy wymienionych stałych są uzyskiwane na drodze stereofototriangulacji blokowej zdjęć wyjściowego cyklu pomiarowego. Stereofototriangulację wykonuje się jeden raz dla wszystkich cykli pomiarowych na danym obiekcie, na podstawie obserwacji stereogramów o bazie czasowej, utworzonych ze zdjęć dwóch pierwszych cykli. Wymagana dokładność tych stałych (taka, aby można było traktować je jako bezbłędne) jest o rząd do dwóch rzędów mniejsza od przewidywanej dokładności wyznaczenia wektorów przemieszczenia. Pozwala to na wykonanie stereofototriangulacji przy technologicznie minimalnej liczbie fotopunktów.

Układ odniesienia dla wyrównania bloku stereogramów o bazie czasowej definiowany jest przez punkty o znanych (wszystkich lub niektórych) składowych wektora przemieszczenia, oraz ewentualnie przez znane przyrosty elementów orientacji zewnętrznej niektórych zdjęć aktualnego cyklu pomiarowego. Wielkości te mogą być określone a priori jako zerowe, lub mogą być wprowadzone do wyrównania jako wyniki innych pomiarów. Zalecane jest, aby pomiary te były również wykonywane w sposób różnicowy. Obecnie prowadzone są badania nad uwzględnieniem w wyrównaniu warunków wiążących składowe wektorów przemieszczenia.

Blokowe wyrównanie obserwacji prowadzi do rozwiązywania wielkiego układu równań nieliniowych z wieloma niewiadomymi. Układ równań nieliniowych jest rozwiązywany zwykłą metodą Newtona. Jako przybliżenie początkowe przyjmowane są wartości elementów orientacji zdjęć wyjściowego cyklu pomiarowego i zerowe wartości przemieszczeń punktów obiektu. Rozwiązanie uzyskuje się po wykonaniu przeciętnie trzech iteracji. Układy równań normalnych rozwiązywane są metodą pierwiastka krakowianowego — transformacją Banachiewicza. Wykorzystywane są przy tym pasmowe struktury tabel współczynników, silne rozrzedzenie tabel, oraz ich inne szczególne właściwości, co zapewnia krótkie czasy obliczeń. Przykładowo, program wyrównania bloku o 5 stereogramach, 70 punktach (700 obserwacjach) wymaga 2 min. czasu centralnego procesora.

Algorytm został oprogramowany na EMC ODRA 1305, w języku FORTRAN 1900 — rozszerzony, w postaci systemu programów o nazwie PARABLOK. Programy są użytkowane pod egzekutorem, jak również pod systemem operacyjnym GEORGE 3. System PARABLOK składa się z czterech programów o technologicznie odrębnych funkcjach: 1) wstęp-

ne opracowanie obserwacji i ocena ich dokładności, 2) kontrola i organizacja danych do wyrównania, 3) wyrównanie obserwacji i obliczenie niewiadomych, 4) obliczenie błędów średnich niewiadomych i błędów funkcji niewiadomych. Uzależnienia systemu obliczeniowego od typu i konfiguracji użytego komputera dotyczą praktycznie tylko ograniczeń na liczbę danych. Wspomniane ograniczenia pozwalają na opracowanie każdego praktycznie zadania pomiarowego. Zapotrzebowanie na pamięć operacyjną największego programu wynosi 37 K (słów 24 bitowych). Możliwości systemu obliczeniowego przedstawiają się następująco:

- a) wielkość bloku — od 1 do 20 stereogramów o bazie czasowej,
- b) liczba punktów biorących udział w wyrównaniu — do 1500 punktów,
- c) liczba obserwacji punktu w bloku — maksymalnie na 9 stereogramach.

Istotną cechą prezentowanej metody jest jej uniwersalność, tzn. nie są nakładane ograniczenia na skalę zdjęć, na kształt bloku zdjęciowego, ani na typ opracowywanego obiektu. Ponieważ metoda zawiera jedynie ogólne wytyczne dotyczące projektowania pomiaru, na użytkownika technologii spoczywa obowiązek sporządzenia szczegółowego projektu pomiaru dla konkretnego obiektu. Dla zrealizowania tego celu metoda podaje sposób, którym jest opracowanie pomiaru przy tzw. zerowej bazie czasowej. Opracowanie to, zalecane jest w szczególności dla nowych typów obiektów i polega na wykonaniu dodatkowego cyklu zdjęciowego, po wykonaniu pierwszego cyklu pomiarowego na obiekcie. Cykl dodatkowy wykonywany jest w takim odstępie czasu, aby można było zrobić ewentualne zmiany w projekcie. Opracowanie tych dwóch cykli, pierwszego i dodatkowego, daje ocenę dokładności w postaci błędów średnich składowych wektorów przemieszczenia wszystkich obserwowanych punktów. Błędy są liczone z odwrotności pierwiastka krakowianowego równań normalnych i błędu średniego obserwacji z wyrównania. Błędy te pozwalają na stwierdzenie, czy dokładność określania przemieszczeń w poszczególnych punktach obiektu jest wystarczająca dla potrzeb interpretacji badanego zjawiska.

Alternatywą dla podanego sposobu projektowania była symulacja komputerowa pomiaru. Jednak pracochłonność tej symulacji porównywalna z omówionym sposobem projektowania (wymagana byłaby duża liczba danych do pozyskania) i ograniczone możliwości symulacji w stosunku do pomiaru rzeczywistej sieci fotogrametrycznej, przesądziły wybór na rzecz omówionego sposobu.

Wyrównanie bloku odbywa się przy następujących założeniach:

- a) równodokładność obserwacji biorących udział w wyrównaniu,
- b) samoeliminacja znacznej części stałych błędów systematycznych z obserwacji (z różnic współrzędnych tłowych),
- c) brak wpływów systematycznych wynikających z fałszywych zało-

żeń co do stałości punktów odniesienia lub zbyt mało dokładnego odtwarzania elementów orientacji przyjętych w wyrównaniu jako stałe.

Proces wyrównania bloku umożliwia sprawdzenie, czy postawione założenia zostały spełnione. Sprawdzenie to, przeprowadzane jest na podstawie parametrów oceny wyrównania i na podstawie testowania różnic między wynikami wyrównań ze zmienionymi danymi. Parametrami oceny wyrównania są:

- błąd średni obserwacji liczony z dwukrotnego pomiaru na stereokomparatorze,
- poprawki do poszczególnych obserwacji,
- błąd średni obserwacji z wyrównania,
- średnia wartość poprawki,
- błędy średnie niewiadomych (składowych wektorów przemieszczenia i elementów orientacji zewnętrznej zdjęć aktualnego cyklu pomiarowego),
- wartości przemieszczeń i ich błędy na punktach odniesienia traktowanych w wyrównaniu jako wyznaczone.

Końcowym wynikiem procesu technologicznego są wektory przemieszczenia punktów wraz z oceną dokładności wyznaczenia. Dla wniosko-  
wania o tym, czy dany punkt obiektu faktycznie się przemieścił, czy też otrzymany wektor jest przede wszystkim skutkiem błędów przypadkowych pomiaru różnic współrzędnych łowych i właściwości konstrukcji sieci fotogrametrycznej, opracowano kryterium oparte o błąd średni długości wektora przemieszczenia. Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że przemieszczenie należy uznać za stwierdzone, gdy wartość ilorazu długości wektora do błędu średniego wyznaczenia tej długości jest większa od liczby 2,0. Wartość tego ilorazu jest obliczana dla poszczególnych punktów. Wyniki są przedstawiane w postaci tabulogramów, oraz zapisywane na nośniku magnetycznym w celu ich ewentualnej komputerowej interpretacji i prezentacji.

Prezentowana metoda została praktycznie zastosowana do wyznaczenia przemieszczeń punktów kilku budowli. Uzyskane wyniki charakteryzuje dokładność, która wyrażona w skali zdjęć wynosi 2—4  $\mu\text{m}$ . Wyniki te będą przedmiotem odrębnej publikacji.

#### L I T E R A T U R A

- [1] Lazzarini T., oraz zespół współautorów: *Geodezyjne pomiary przemieszczeń budowli i ich otoczenia*, PPWK, Warszawa 1977.
- [2] B y c h a w s k i W.: *Metoda eliminowania wpływów zmian elementów orientacji*

*przy fotogrametrycznym wyznaczaniu przemieszczeń*. Prace IGiK, tom XXXIII, zeszyt 1, Warszawa 1976.

- [3] Ziobro J.: *Wytyczne technologiczne fotogrametrycznego wyznaczania przemieszczeń punktów budowli z zastosowaniem systemu blokowego wyrównania stereogramów o bazie czasowej PARABLOK*, Warszawa 1982, maszynopis.
- [4] Ziobro J.: *Opis systemu PARABLOK*, wyd. II, Warszawa 1982, maszynopis.

Recenzował: doc. dr inż. Bohdan Bohonos

JAN ZIOBRO

THE METHOD OF BLOCK ADJUSTMENT OF OBSERVATION OF STEREOGRAMS  
WITH THE TIME BASIS FOR THE DETERMINING THE DISPLACEMENTS OF  
POINTS

S u m m a r y

The paper presents a method of block adjustment of observation of stereograms with the time basis for determination of displacement of points of engineering structures based on overland photogrammetric surveys. The method belongs to the class of differential methods in which adjustment magnitudes are those of the differences in coordinates of background points derived from photographs of structures taken at two different time points, the unknowns being components of displacement vectors. The main characteristic of the method is the mathematical determination; it provides of the general case of making up a stereogram with time basis. This gives the possibility of a single-phase block adjustment of a set of stereograms with time basis. The method has two basic advantages of differential methods, i.e. self-elimination of the system errors in the course of observation, immediate assessment of accuracy of pre-set unknowns as well as advantages inherent in the specific features of photogrammetric surveying. Apart from the theoretical foundations of the method in question also discussed are the main features of the technology based on it. Described also is the way of designing a survey based on elaboration of an object with zero-time basis of stereograms and the reference system for adjustment of observation. The algorithm for solving a great system of nonlinear equations is based on the Newton method and the Banachiewicz transformation. This is achieved through a small number of nonzero coefficients in tables, the banded structure and other qualities inherent in the establishment of the photogrammetric surveying system. The algorithm is programmed for the medium capacity computer ODRA 1305, by way of the software system called PARABLOK. Those systems are used under the operating system GEORGE 3. The computation capacity of the software applied make it possible to handle blocks of up to 20 stereograms with time-basis and up to 1500 points available for justification. The paper also provides the requirements for justification and the criterion for establishing real dislocation of points of an object.

Translation: T. Rakk

ЯН ЗИОБРО

## МЕТОД БЛОКОВОГО УРАВНИВАНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ СТЕРЕОГРАММ С ВРЕМЕННЫМ БАЗИСОМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК

### Резюме

Представлен метод блокового уравнивания наблюдений стереограмм с временным базисом для определения перемещений точек инженерных построек на основе фотограмметрических наземных снимков. Метод принадлежит к классу разностных методов, в котором уравниваемыми величинами являются разницы координат точек снимка, полученные со снимков объекта, выполненных в двух разных моментах времени, неизвестными — составляющие векторов перемещения. Главной особенностью метода является математическое определение общего случая постройки стереограммы с временным базисом. Это дало возможность одноэтапного и блокового уравнивания комплекта стереограмм с временным базисом. Метод имеет два достоинства разностных методов, а именно самоисключение систематических ошибок из наблюдений и непосредственную оценку точности определяемых неизвестных, сверх того достоинства, вытекающие из специфики фотограмметрического измерения. Кроме теоретических основ метода рассмотрены главные черты основанной на нем технологии. Описан способ проектирования, заключающийся в обработке объекта при нулевом временном базисе стереограмм, а также рассмотрена система отнесения для уравнивания наблюдений. Алгоритм решения большой системы нелинейных уравнений опирается на методе Ньютона и на трансформации Банахеви́ча. Используются при этом: большое разрежение таблиц коэффициентов, ленточная структура и другие свойства, вытекающие из постройки фотограмметрической сети. Алгоритм программирован для ЭВМ средней вычислительной мощности ОДРА 1305, в виде системы программ с названием PARABLOK. Программы используются под операционной системой GEORGE 3. Вычислительные возможности программного обеспечения разрешают проводить обработку блоков величиной до 20 стереограмм с временным базисом и до 1500 пунктов, участвующих в уравнивании. Представлены требования, предъявляемые к уравниванию, и критерия для установления фактического перемещения точек объекта.

Перевод: Róża Tolstikowa



JERZY MAJOWICZ

**Tablice księżycowe w Roczniku Astronomicznym IGiK**

Zarys treści. W artykule opisane są metody sporządzania tablic księżycowych do Rocznika Astronomicznego IGiK ze szczególnym uwzględnieniem zastosowanej od XL tomu metody obliczania wschodu i zachodu Księżyca.

Rocznik astronomiczny publikowany przez Instytut Geodezji i Kartografii przeznaczony jest głównie dla geodetów. Rocznik ten jest używany w pracach geodezyjnych licznych przedsiębiorstw, instytucji wojskowych, w liceach mierniczych i szkołach wyższych. Strony od 18 do 25 są poświęcone tablicom księżycowym, które zawierają następujące dane: rektascenzję pozorną ( $\alpha_{app}$ ), deklinację pozorną ( $\delta_{app}$ ), zmianę deklinacji na jedną godzinę ( $V_{\delta}/1^h$ ), promień tarczy ( $R$ ), paralaksę horyzontalną ( $\pi$ ) oraz chwile wschodu, zachodu i górowania Księżyca w Warszawie. Wschód, zachód i kulminacja Księżyca, na każdy dzień roku, są policzone dla współrzędnych geograficznych głównego słupa Obserwatorium Politechniki Warszawskiej i z użyciem parametrów elipsoidy ziemskiej MUA 1976.

**1. Geocentryczne dane księżycowe**

Podstawowe efemerydy Księżyca przygotowywane są w głównych centrach obliczeń roczników (np. w Obserwatorium Marynarki Wojennej USA). Efemerydy te są oparte na tablicach Browna z uwzględnieniem poprawek wynikających z poprawionej teorii ruchu Księżyca. Do danych fundamentalnych należą: pozorna długość ekliptyczna ( $\lambda$ ), pozorna szerokość ekliptyczna ( $\beta$ ) oraz równikowa paralaksa horyzontalna ( $\pi$ ). Wszystkie pozostałe dane są obliczane na podstawie efemeryd fundamentalnych.

*1.1. Rektascenzja i deklinacja*

Współrzędne równikowe są obliczane na podstawie ogólnie znanych zależności trójkąta sferycznego:

$$\left. \begin{aligned} \cos\delta\cos\alpha &= \cos\beta\cos\lambda \\ \cos\delta\sin\alpha &= \cos\beta\sin\lambda\cos\varepsilon - \sin\beta\sin\varepsilon \\ \sin\delta &= \cos\beta\sin\lambda\sin\varepsilon + \sin\beta\cos\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

gdzie  $\varepsilon$  oznacza nachylenie ekliptyki do równika.

### 1.2. Zmiana deklinacji na jedną godzinę

Zmiana deklinacji na jedną godzinę jest wartością średnią ze zmian w godzinach od 23<sup>h</sup> do 24<sup>h</sup> dnia poprzedniego i od 0<sup>h</sup> do 1<sup>h</sup> dnia o dacie żądanej.

### 1.3. Promień Księżyca

Promień ten jest obliczany z wzoru:

$$\sin R = 0,272481 \sin \pi. \quad (2)$$

## 2. Topocentryczne dane księżycowe

Wschód lub zachód Księżyca jest zdefiniowany jako chwila osiągnięcia horyzontu astronomicznego przez górny brzeg jego tarczy, z uwzględnieniem refrakcji horyzontalnej oraz paralaksy. W chwili wschodu (zachodu) odległość zenitalną ( $z$ ) Księżyca można wyrazić wzorem:

$$z = 90^\circ + 34' + R - \pi. \quad (3)$$

Za chwilę górowania uznaje się chwilę przejścia przez południk miejscowy środka tarczy Księżyca, tzn. gdy jego kąt godzinowy jest równy zeru.

Obliczając czas występowania tych zjawisk korzystamy z następujących zależności:

$$\left. \begin{aligned} \cos z &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \\ \cos t &= -\tan \varphi \tan \delta + \sec \varphi \sec \delta \cos z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

gdzie

$t$  — kąt godzinny = czas gwiazdowy Greenwich +  $\lambda - \alpha$

$\varphi$  — szerokość geograficzna

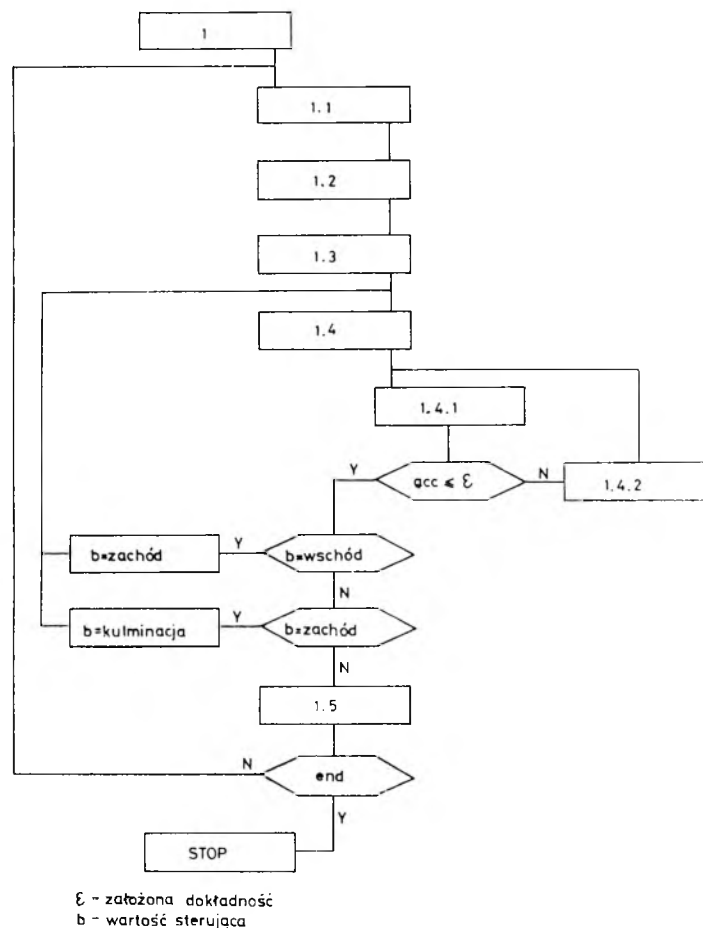
$\lambda$  — długość geograficzna.

### 2.1. Metody obliczeń stosowane w rocznikach

Przy obliczeniach masowych na komputerach najszerzej stosowana jest metoda obliczeń chwil wschodu i zachodu opisana w [1]. Chwile odpowiadające zjawiskom wschodu i zachodu, tzn. dla odpowiedniej, podanej we wzorze (3) odległości zenitalnej, wyznacza się za pomocą interpolacji odwrotnej. Interpolację tę stosuje się do szeregu odległości zenitalnych obliczonych dla kilku, w odstępach godzinnych, zadanych chwil w pobliżu przewidywanego w danym dniu wschodu i zachodu Księżyca.

## 2.2. Metoda używana w Roczniku Astronomicznym IGiK do roku 1984

Bardziej uproszczoną metodę stosowano w Roczniku Astronomicznym IGiK do tomu XXXIX włącznie. Obliczenia wschodu i zachodu Księżyca były oparte na danych zaczerpniętych z Rocznika Astronomicznego ZSRR. Stosując podwójną interpolację obliczano przybliżone chwile wschodu i zachodu w Warszawie na daną datę. Wartości te służyły następnie do wyinterpolowania rektascenzji i deklinacji Księżyca, które —



Rys. 1

1. — Wprowadzenie danych uzupełniających i obliczenia wstępne
- 1.1. — Wczytanie danych podstawowych na jeden dzień z taśmy magnetycznej i początek pętli dla danego dnia
  - 1.2. — Obliczenia wstępne dla danego dnia
- 1.3. — Ustalenie danych początkowych (wartość sterująca b = wschód)
- 1.4. — Początek pętli dla obliczenia chwil zjawisk
  - 1.4.1. — Jedna kompletna iteracja
  - 1.4.2. — Ustalenie nowych danych początkowych
- 1.5. — Obliczenia końcowe i wydruk wyników

z kolei — były używane do wyznaczania dokładniejszej wartości kąta godzinowego i, ostatecznie, chwil wschodu i zachodu.

Metoda ta była nużąca i pracochłonna, ale jej główną wadą była zależność od wydawnictw importowanych, które nie zawsze były dostępne z odpowiednim wyprzedzeniem dla cyklu wydawniczego Rocznika.

### 2.3 Metoda używana obecnie w Roczniku Astronomicznym IGiK

Wykorzystując taśmę magnetyczną z danymi pozycjami Księżyca, otrzymaną dzięki uprzejmości Dyrektora US Naval Observatory Almanac Office, mogliśmy od Rocznika na rok 1985, wprowadzić nową metodę obliczeń chwil wschodu i zachodu Księżyca. Na taśmie oprócz efemeryd podstawowych znajdują się także współrzędne równikowe i prostokątne Księżyca, podane na każdą godzinę lat od 1980 do 1999.

Tablice księżycowe w tomie XL (1985), który obecnie jest w druku, są już oparte na danych z taśmy USNO. Metoda obliczeń chwil wschodu i zachodu jest jednak różna od metody opisanej w Explanatory Supplement to the Ephemeris [1]. Zastosowany w IGiK algorytm wykorzystuje zależności (1), (2), (3) i (4) w serii kolejnych przybliżeń. Kolejne interpolacje są wykonywane na współrzędnych ekliptycznych, które są wolniej zmienne niż współrzędne równikowe, co umożliwia zastosowanie wzorów interpolacyjnych niskiego stopnia (nawet liniowego). Cykl obliczeń jest powtarzany (rys. 1), aż do osiągnięcia dokładności obliczeń nie mniejszej niż  $10^{-5}$  radiana ( $\sim 1,4^s$ ), co zwykle następuje już w trzeciej iteracji. Wyniki są drukowane w odpowiednim formacie, dzięki czemu, po dorysowaniu ramek mogą być przekazane do druku.

Metoda ta uwzględnia zmienność wszystkich branych do obliczeń elementów i może być zastosowana dla dowolnego ciała niebieskiego (w Roczniku IGiK stosowana jest także do obliczania wschodu i zachodu Słońca). Dokładność obliczeń jest teoretycznie nieograniczona (przez zwiększenie liczby iteracji). Ze względu jednak na refrakcję przy horyzoncie, która jest głównym źródłem niepewności wyznaczanych chwil wschodu i zachodu ciał niebieskich, metoda opisana w punkcie 2.1. niniejszej pracy — chociaż mniej ścisła — jest praktycznie równoważna metodzie zastosowanej w IGiK.

### 3. Zakończenie

Przygotowanie tablic księżycowych w sposób opisany powyżej jest jednym z ostatnich kroków do całkowitej automatyzacji obliczeń do Rocznika Astronomicznego IGiK. Uniezależnienie się od wydawnictw obcych będzie miało zasadnicze znaczenie dla przyspieszenia prac obliczeniowych i z pewnością pozwoli na wcześniejsze przygotowanie Rocznika, a co za tym idzie i wydawane z odpowiednim wyprzedzeniem.

## L I T E R A T U R A

[1] *Explanatory Supplement to the Ephemeris.....*, London 1961, fourth impression  
(with amendments) 1977.

Recenzowała: doc. dr hab. Maria Dobrzycka

JERZY MAJOWICZ

### Moon's tables in Astronomical Yearbook IGiK

Rocznik Astronomiczny (Astronomical Yearbook) published by the Institute of Geodesy and Cartography (IGiK) is addressed to surveyors. It is used in geodetic works of numerous enterprises, military institutions and high and academic schools. Pages 18-25 of this Yearbook are devoted to Lunar tables, which contain the following data: apparent right ascension ( $\alpha_{app}$ ), apparent declination ( $\delta_{app}$ ), hourly change of declination ( $V_\delta/1^h$ ), semidiameter ( $R$ ), horizontal parallax ( $\pi$ ), moonrise, moonset and Moon's culmination. These three last values are given for Warsaw (the main pillar of the Technical University Observatory) and for International Ellipsoid 1976.

#### 1. Geocentric Lunar data

Fundamental Lunar Ephemerides prepared in main almanac offices (e.g. US Naval Observatory Almanac Office) are based on Brown's theory of the motion of the Moon and on Improved Lunar Ephemeris. To these fundamental data belong: apparent Moon's longitude ( $\lambda$ ), apparent Moon's latitude ( $\beta$ ), and Moon's parallax. All the other quantities are derived from the fundamental ones.

##### 1.1. Right ascension and declination

Equatorial coordinates of the Moon are calculated using fundamental relations of spherical triangle:

$$\left. \begin{aligned} \cos \delta \cos \alpha &= \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \delta \sin \alpha &= \cos \beta \sin \lambda \cos \varepsilon - \sin \beta \sin \varepsilon \\ \sin \delta &= \cos \beta \sin \lambda \sin \varepsilon + \sin \beta \cos \varepsilon \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

where  $\varepsilon$  denotes obliquity.

### 1.2. Hourly change of declination

Hourly change of declination  $\delta/1^h$  is a mean value of hourly changes: from  $23^h$  to  $24^h$  of a previous date, and from  $0^h$  to  $1^h$  of a date required.

### 1.3. Moon's semidiameter

Moon's radius is derived (basing on Newcomb's data) according to the formula

$$\sin R = 0.272481 \sin \pi. \quad (2)$$

## 2. Topocentric Lunar data

Generally accepted time of moonrise (and moonset) for a given place is the time when the upper limb of the Moon is on the horizon. Due to refraction and Moon's and Earth's dimensions and their distance, the true value of zenith distance ( $z$ ) differs from  $90^\circ$  at the time of rising (setting); it can be expressed by the formula:

$$z = 90^\circ + 34' + R - \pi. \quad (3)$$

As a time of Moon's culmination there is accepted the time of transit of its limb center over the local meridian, when the hour angle of the Moon reaches zero.

Calculating the times of phenomena in question, the following relations of a spherical triangle are used:

$$\left. \begin{aligned} \cos z &= \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \\ \cos t &= -\tan \varphi \tan \delta + \sec \varphi \sec \delta \cos z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

where

- $t$  — Moon's hour angle = Greenwich sidereal time +  $\lambda - \alpha$ ,
- $\varphi$  — local latitude;
- $\lambda$  — denotes here the local longitude.

### 2.1. Method of computation used in almanacs

The most widely used method of moonrise (moonset) calculation using the high-speed computing machine is described in [1]. Times corresponding to the zenith distance required (on the horizon) are obtained using inverse interpolation of zenith distances calculated for a number of pre-determined times close to expected times of rising and setting.

## 2.2. Method formerly used in Astronomical Yearbook IGiK

More simplified method was used in our Astronomical Yearbook up to the volume XXXIX (1984). Times of rising and setting of the Moon have been based on the corresponding data enclosed in USSR Astronomical Yearbooks. Using double interpolation, there have been determined approximate times of moonrise and moonset in Warsaw. These values have entered the next step in which right ascension and declination have been found. The latter two values have served, in turn, for more

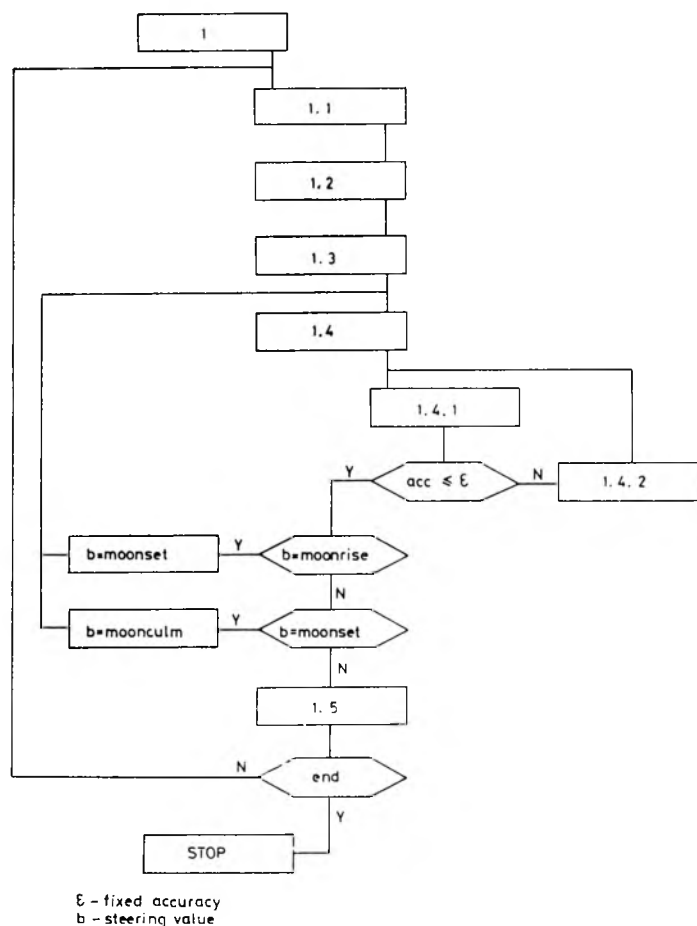


Fig. 1

1. — Put supplementary data and make introductory computations
- 1.1. — Read fundamental data of a day from tape, and start the loop for this day
- 1.2. — Make introductory computations for the given day
- 1.3. — Fix initial values (control value  $b = \text{moonrise}$ )
- 1.4. — Start the loop for computations of times of phenomena
  - 1.4.1. — Make one complete iteration
  - 1.4.2. — Compute new initial values
- 1.5. — Final computation and printing of result



accurate determination of hour angle, and, finally, times of corresponding moonrise and moonset.

Although this method was relatively simple, yet, however, it was rather cumbersome and timeconsuming. Its main disadvantage was the dependence on foreign almanacs which were not always available enough in advance.

### *2.3. Method used at present in Astronomical Yearbook IGiK*

Essential turn came after making use of magnetic tape which we received thanks to the Director of US Naval Observatory Almanac Office. The tape, we were kindly supplied with, contained Moon's fundamental data such as ecliptic longitude, ecliptic latitude and parallax, and the data derived such as right ascension, declination and rectangular coordinates. All the data are given for every hour of years from 1980 to 1989.

Lunar tables of the IGiK Astronomical Yearbook, vol. XL, which is currently in press, is based on US Almanac Office tape. However, the method used is different from that described in Explanatory Supplement to the Ephemeris [1]. Algorithm being applied now makes use of formulae (1), (2), (3) and 4) in a sequence of approximations. Successive interpolations are executed on ecliptic coordinates which are subject to much slower changes than equatorial coordinates of the Moon. The scheme of calculation (Fig. 1) is repeated until the difference between the preceding and the following value of time of moonrise (moonset) is less than  $10^{-5}$  of one radian (1.4s). Usually three iterations are sufficient. The results are printed in a suitable format, and require some editorial arrangement only when going to press.

The method presented here takes into account greater number of variables, and it is more exact and compact than that described in item 2.1., but, owing to refraction, which is the main source of inaccuracies of moonrises (moonsets), both the methods discussed practically give equivalent results.

### **3. Conclusions**

Elaboration of the Moon's tables in the way given above has been one of the last steps of automatization of works on IGiK Astronomical Yearbook. An independence from the Yearbooks imported will have a vital importance for speeding up the whole process of computation, and thereupon will for certain allow to publish the IGiK Astronomical Yearbook well ahead.

## LITERATURE

[1] *Explanatory Supplement to the Ephemeris ...*, London 1961, fourth edition (with amendments) 1977.

Translation: Maria Dobrzycka

ЕЖИ МАЁВИЧ

## ЛУННЫЕ ТАБЛИЦЫ В АСТРОНОМИЧЕСКОМ ЕЖЕГОДНИКЕ ИГиК

### Резюме

В статье представлены методы составления лунных таблиц для Астрономического ежегодника ИГиК с особым учетом применяемого с XL тома метода вычисления восхода и заката Луны.

Перевод: Róża Tolstikowa