

KAZIMIERZ A. CZARNECKI
JERZY B. ROGOWSKI

[77.072:629.785]:681.3.04

Automatyczna identyfikacja obiektów odwzorowanych na fotogramach obserwacyjnych sztucznych satelitów Ziemi

1. Wprowadzenie

Identyfikacja obiektów odwzorowanych na fotogramach satelitarnych jest jednym z podstawowych ogniw systemu informatycznego „CORSAAT-System”, zaprojektowanego przez autorów [1] i ujmującego kompleksowo problemy opracowania wyników fotograficznych obserwacji satelitarnych. W trakcie pracy nad systemem wynikła potrzeba dość istotnych zmian organizacyjnych dotychczas stosowanego procesu redukcji fotograficznych obserwacji satelitarnych [5], [6].

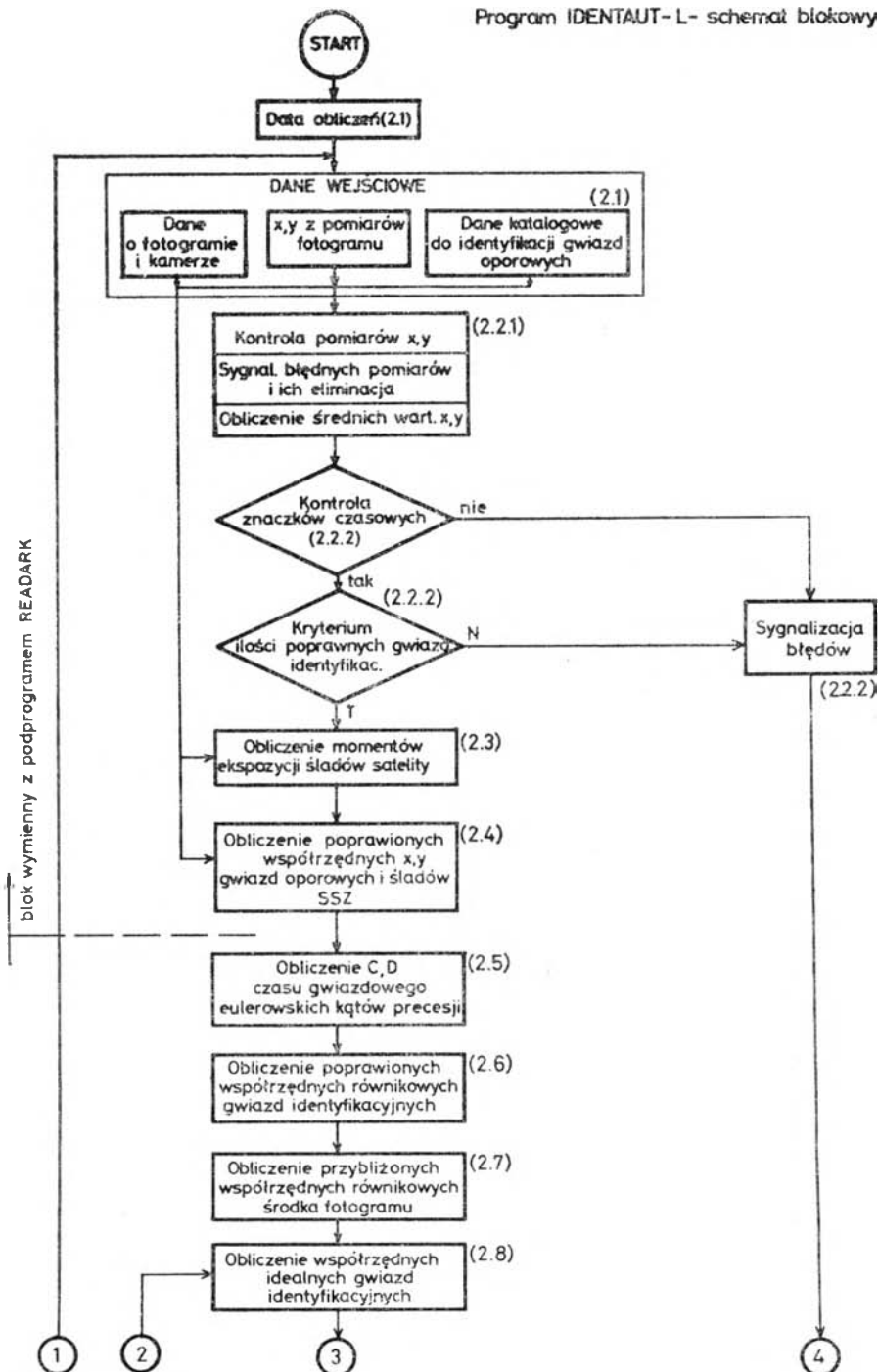
Zmiany te rzutują zasadniczo na ekonomikę całego procesu opracowania fotogramów i konstrukcję algorytmu identyfikacji, a w związku z tym należy je mieć na względzie stosując niżej opisany algorytm.

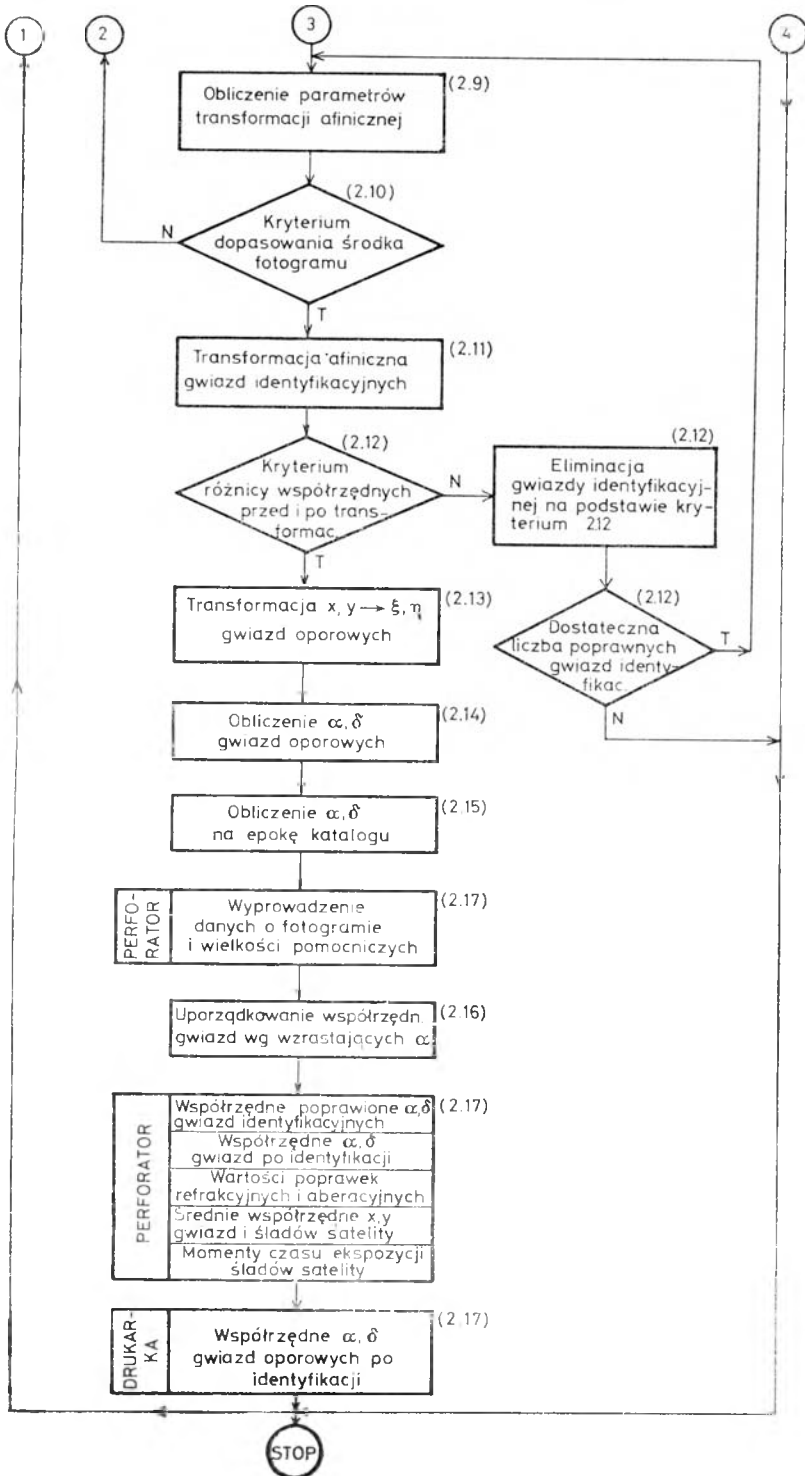
1. Algorytm identyfikacji powinien być uniwersalny i służyć zarówno do opracowania obserwacji satelitów jasnych, jak i słabych. Powinny istnieć możliwości prostej adaptacji algorytmu dla różnych technik obserwacyjnych i technik pomiaru fotogramów (koordynatometrów).

2. Kontrola błędów wynikających z wad fotogramu i pomyłek w pomiarach powinna być wykonana we wstępnej fazie opracowania. Wyniki kontroli mają stanowić kryterium kwalifikujące fotogram.

3. Potrzebna jest wysoka dokładność identyfikacji gwiazd: różnice między wartościami uzyskanymi w trakcie identyfikacji i wartościami katalogowymi nie powinny przekraczać kilku sekund łuku. Taka dokładność identyfikacji znakomicie upraszcza przygotowanie danych do następnych etapów opracowania, a także daje poważne oszczędności czasu pracy komputera, gdyż wartości poprawek refrakcyjnych i aberracyjnych można obliczać jednokrotnie dla całego procesu astrometrycznego opracowania.

Program IDENTAUT-L- schemat blokowy





2. Opis algorytmu

Organizację procesu wstępnego opracowania fotogramów i identyfikacji gwiazd oporowych ilustruje schemat blokowy programu IDENTAUT-L. Program IDENTAUT-L został napisany w języku ALGOL-1204, a jego podstawowe zadania można podzielić na trzy etapy:

1) obliczenie wartości średnich z wyników pomiarów współrzędnych płaskich x , y , kontrola poprawności wykonania pomiarów, sygnalizacja błędów, kwalifikacja fotogramu do dalszego opracowania lub do poprawy pomiarów,

2) obliczenie momentów ekspozycji śladów satelity i szeregu wartości pomocniczych, niezbędnych do dalszego opracowania analitycznego,

3) zasadniczą częścią programu jest obliczenie współrzędnych równikowych gwiazd oporowych na podstawie katalogowych współrzędnych równikowych co najmniej czterech spośród tych gwiazd (nazywanych dalej gwiazdami identyfikacyjnymi).

Opis algorytmu identyfikacji będziemy prowadzić według schematu programu IDENTAUT-L, który ten algorytm realizuje.

2.1. Dane wejściowe

- 1) data obliczeń — wartość wspólna dla wszystkich fotogramów redukowanych w danym dniu,
- 2) numer fotogramu,
- 3) data wykonania fotogramu,
- 4) moment synchroniczny,
- 5) poprawiony o poprawkę zegara odczyt fotochronografu,
- 6) liczba par znaczków czasowych na fotogramie,
- 7) liczba śladów satelity na fotogramie,
- 8) liczba zaobserwowanych gwiazd oporowych na fotogramie,
- 9) liczba identyfikacyjnych gwiazd oporowych,
- 10) tablica zawierająca n elementów, którymi są numery gwiazd identyfikacyjnych (według numeracji pomiarów na koordynatometrze),
- 11) tablice danych katalogowych gwiazd identyfikacyjnych $(\alpha_k, \mu_{\alpha k}, \delta_k, \mu_{\delta k})$,
- 12) wyniki obserwacji współrzędnych x , y (na koordynatometrze Ascorrecord) znaczków tłowych, znaczków czasowych, śladów satelity i śladów gwiazd.

2.2. Wstępne opracowanie wyników pomiarów współrzędnych x , y , kwalifikacja fotogramu

2.2.1. Obliczenie średnich wartości współrzędnych x , y wraz z odrzuceniem pomiarów obarczonych dużymi błędami

Etap ten polega na uśrednieniu wyników pomiarów i kontroli czy

$$\left| \frac{a_p (p-1)}{S} - \sum_{i=1}^{s-1} \frac{a_i}{S} \right| < k_a, \quad (1)$$

gdzie: a_i — wartość współrzędnej z pomiaru w i -tej serii, p — numer kontrolowanej serii pomiaru, S — liczba wszystkich serii, k_a — kryterium aktualnie obliczone w/g wzoru (2)

$$k_a = k_r \sqrt{\frac{p^2 + p}{S^2 + S}}, \quad (2)$$

k_r — stanowi wartość błędu granicznego pojedynczego pomiaru ustaloną na podstawie badań koordynatometru — 0,012 mm dla obrazów satelity i gwiazd oraz — 0,1 mm dla znaczków czasowych.

Jeżeli warunek określony zależnością (1) nie jest spełniony dla którejkolwiek z pomiarów obrazów: satelity, gwiazd, lub znaczków czasowych, to obraz taki nie jest brany pod uwagę przy dalszym opracowaniu fotogramu.

2.2.2. Kwalifikacja fotogramu

Sygnalizowane są kolejno numery:

- śladów satelity,
- obrazów gwiazd (z ewentualnym zaznaczeniem czy pomijana w dalszym opracowaniu gwiazda jest gwiazdą identyfikacyjną),
- śladów znaczków czasowych, jeżeli kontrola wyników pomiaru tych obiektów była negatywna.

Kontynuowanie obliczeń nie jest celowe, jeżeli błędny znaczek czasowy znajduje się w obrębie śladu satelity lub jeżeli wyeliminowano z obliczeń taką liczbę gwiazd identyfikacyjnych, że liczba poprawnie pomierzonych i wstępnie zidentyfikowanych gwiazd jest mniejsza niż 4. W tych przypadkach fotogram powinien podlegać powtórnemu wstępnemu opracowaniu.

2.3. Obliczenie momentów ekspozycji satelity

Momenty ekspozycji obliczane są za pomocą wzorów zalecanych przez instrukcję obsługi kamery AFU 75 [2].

$$T_i = t + i - 1 + 0,01^s \left(\frac{Y_{cj} - Y_{Si}}{Y_{cj} - Y_{cj+1}} + j - 1 \right) + \Delta T_j, \quad (3)$$

$$T_j = \frac{1}{2\pi} \left[\arctg \frac{\bar{Y}_{Si}}{Z} - \arctg \left(\frac{fr \bar{Y}_{Si}}{Zf \sqrt{Z^2 + \bar{Y}_{Si}^2 + Z^2 R^2}} \right) \right] + \Delta t + \bar{X}_{Si} S_k, \quad (4)$$

$$\bar{Y}_{Si} = Y_{Si} - y_c + n_0; \quad \bar{X}_{Si} = X_{Si} - x_c,$$

gdzie:

T_i — moment ekspozycji i -tego śladu satelity,

j — numer znacznika czasowego o wartości współrzędnej Y najbliższej wartości współrzędnej Y i -tego śladu satelity, lecz mniejszej od tej wartości,

Y_{cj} — współrzędna Y j -tego znacznika czasowego,

t — odczyt fotochronografu poprawiony o wartość poprawki zegara,

Y_{Si} — współrzędna Y i -tego śladu satelity,

x_c, y_c — współrzędne środka optycznego fotogramu,

n_0 — nachylenie migawki względem osi optycznej kamery w położeniu zerowym,

S_k — skręcenie osi szczeliny migawki,

t — opóźnienie,

R — promień migawki,

f — ogniskowa kamery,

Z — odległość osi obrotu migawki od stołu kamery.

2.4. Obliczenie poprawionych wartości współrzędnych x, y

Współrzędne śladów gwiazd i satelity na fotogramie należy odnieść do środka optycznego fotogramu przy pomocy zależności:

$$\Delta x = x_p - x_c; \quad \Delta y = y_p - y_c, \quad (6)$$

gdzie:

x_p, y_p — pomierzone współrzędne tłowe śladu gwiazdy lub satelity.

Kolejną czynnością jest poprawienie tych współrzędnych ze względu na wpływ dystorsji. Wykorzystano następujące wzory [4]:

$$\begin{aligned} x &= \Delta x + \Delta x (\Delta x^2 + \Delta y^2) c_1 + \Delta x (\Delta x^2 + \Delta y^2) c_2, \\ y &= \Delta y + \Delta y (\Delta x^2 + \Delta y^2) c_1 + \Delta y (\Delta x^2 + \Delta y^2) c_2, \end{aligned} \quad (7)$$

gdzie:

- c_1, c_2 — są to tak zwane współczynniki dystorsji radialnej,
 x, y — współrzędne tłowe poprawione ze względu na wpływ parametrów optycznych kamery.

2.5. Obliczenie eulerowskich kątów precesji, czasu gwiazdowego i stałych Bessela

Wielkości te są funkcją czasu wyrażonego przez datę juliańską. Przeliczanie daty wyrażonej w latach, miesiącach i dniach wykonywane jest za pomocą ogólnie znanych zasad.

Obliczenie eulerowskich kątów precesji ζ_0, z, Q wykonuje się przy pomocy wzorów:

$$\begin{aligned}\zeta_0 &= 23,04952''t + 0,302'' \cdot 10^{-4}t^2 + 0,018'' \cdot 10^{-6}t^3, \\ z &= 23,04952''t + 1,095'' \cdot 10^{-4}t^2 + 0,018'' \cdot 10^{-6}t^3, \\ Q &= 20,04258''t - 0,427'' \cdot 10^{-4}t^2 - 0,042'' \cdot 10^{-6}t^3,\end{aligned}\quad (8)$$

gdzie: t — interwał czasu liczony w latach zwrotnikowych od 1950.0 do początku roku zwrotnikowego epoki obserwacji.

Obliczenie średniego czasu gwiazdowego momentu ekspozycji fotogramu odbywa się za pomocą następującego algorytmu:

$$\begin{aligned}S_0 &= 18^h 38^m 45,836^s + 8640 184,542^s T + 0,0929^s T^2, \\ S &= S_0 + 1,002 737 903 3 \cdot TU - \lambda,\end{aligned}\quad (10)$$

gdzie:

- S_0 — czas gwiazdowy Greenwich o 0^h TU,
 T — interwał czasu liczony w stuleciach juliańskich (po 36525 średnich dób słonecznych) od epoki 1900 styczeń 0^d 12^h TU,
 S — czas gwiazdowy miejscowy,
 λ — długość geograficzna miejsca obserwacji liczona w kierunku zachodnim.

Wartość interwału czasu T wygodnie jest obliczyć za pomocą wzoru

$$T = \frac{JD - 2415020,0}{36525}, \quad (11)$$

gdzie: JD — data juliańska odpowiadająca dacie kalendarzowej wykonania obserwacji.

Obliczenie współczynników C, D Bessela jest wykonywane za pomocą uproszczonych wzorów, w których pominięto wpływ planet na ruch orbi-

talny Ziemi. Jest to dopuszczalne, gdyż wynikający z tego błąd nie przekracza $0,03''$.

$$\begin{aligned} C &= -20,497'' \cos \varepsilon \cos \odot, \\ D &= -20,497'' \sin \odot \end{aligned} \quad (12)$$

gdzie: \odot — prawdziwa długość ekliptyczna Słońca; ε — średnie nachylenie równika do ekliptyki.

Wartości te można obliczyć za pomocą wzorów:

$$\odot = L + 2e \sin g + \frac{5}{4} e^2 \sin 2g, \quad (13)$$

$$\varepsilon = 23^\circ 27' 08,26'' - 46,845'' T. \quad (14)$$

Wielkości występujące we wzorze (13) oznaczają kolejno:

L — średnią długość ekliptyczną Słońca,

e — mimośród orbity Ziemi,

g — średnią anomalię Słońca.

Wielkości te obliczono ze wzorów Newcomba:

$$L = 279^\circ 41' 48,04'' + 129602768,13'' T + 1,089'' T^2, \quad (15)$$

$$e = 0,0167510 - 0,0000418 T, \quad (16)$$

$$g = 358^\circ 28' 33,04'' + 129596579,10'' T - 0,54'' T^2. \quad (17)$$

2.6. Poprawienie współrzędnych równikowych gwiazd identyfikacyjnych o wpływ ruchów własnych oraz refrakcji i aberracji

Do obliczenia poprawki ze względu na ruch własny potrzebny jest interwał czasu (t) wyrażony w latach zwrotnikowych, poczynając od epoki katalogu (1950.0) do momentu wykonania fotogramu.

Obliczenie to wykonano za pomocą wzoru

$$t = \frac{\text{JD } 2415020,3134}{365,2422} - 50. \quad (18)$$

Współrzędne gwiazd identyfikacyjnych zostały poprawione o wpływ ruchów własnych za pomocą następujących zależności:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_{ic} + \Delta t u_{\alpha_k}, \\ \delta_1 &= \delta_{ic} + \Delta t \mu_{\delta k}. \end{aligned} \quad (19)$$

Poprawki do katalogowych współrzędnych gwiazd identyfikacyjnych ze względu na wpływ refrakcji i aberracji rocznej należy obliczać za po-

mocą średnich współrzędnych równikowych dla epoki obserwacji. W celu wyliczenia wartości tych współrzędnych wykorzystano obliczone w 2.5 kąty Eulera. Następnie obliczono współrzędne gwiazd poprawione ze względu na wpływ precesji posługując się następującymi wzorami [3]:

$$\begin{aligned}
 A_0 &= \alpha_k + \zeta_0, \\
 p &= \sin Q \left(\operatorname{tg} \delta_k + \operatorname{tg} \frac{1}{2} Q \cos A_0 \right), \\
 \Delta\alpha &= \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(p \sin \frac{A_0}{1 - p \cos A_0} \right), \\
 \Delta\delta &= 2 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2} Q \cos \left(\frac{1}{2} \Delta\alpha + A_0 \right)}{\cos \frac{1}{2} \Delta\alpha};
 \end{aligned} \tag{20}$$

oraz:

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 &= A_0 + \Delta\alpha + z + \mu_\alpha \Delta t, \\
 \delta_0 &= \delta_k + \Delta\delta + \mu_\delta \Delta t.
 \end{aligned} \tag{21}$$

Poprawki do współrzędnych równikowych ze względu na wpływ refrakcji astronomicznej ($\Delta\alpha_r$, $\Delta\delta_r$) obliczono przy pomocy powszechnie znanych wzorów:

$$z = \operatorname{arc} \cos [\sin \varphi \sin \delta_0 + \cos \varphi \cos \delta_0 \cos (S - \alpha_0)], \tag{22}$$

$$r = 61,13'' \operatorname{tg} z - 0,087'' \operatorname{tg}^3 z \tag{23}$$

oraz

$$\begin{aligned}
 \Delta\alpha_r &= \frac{r \cos \varphi \sin (S - \alpha_0)}{\sin z \cos \delta_0}, \\
 \Delta\delta_r &= r \frac{\sin \varphi \cos \delta_0 - \cos \varphi \sin \delta_0 \cos (S - \alpha_0)}{\sin z},
 \end{aligned} \tag{24}$$

w których

- φ — szerokość geograficzna miejsca obserwacji,
- r — wpływ refrakcji na odległość zenitalną,
- z — odległość zenitalna.

Natomiast wartości poprawek ze względu na wpływ aberracji rocznej ($\Delta\alpha_{ab}$, $\Delta\delta_{ab}$) obliczano z wzorów:

$$\begin{aligned}
 \Delta\alpha_{ab} &= C \cos \alpha_0 \sec \delta_0 + D \sin \alpha_0 \sec \delta_0, \\
 \Delta\delta_{ab} &= C (\operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta_0 - \sin \delta_0 \sin \alpha_0) + D \sin \delta_0 \cos \alpha_0.
 \end{aligned} \tag{25}$$

Wartości współrzędnych równikowych (α , δ) potrzebne do dalszego opracowania numerycznego, obliczono w następujący sposób:

$$\begin{aligned}\alpha &= \alpha_1 + \Delta\alpha_r + \Delta\alpha_{ab}, \\ \delta &= \delta_1 + \Delta\delta_r + \Delta\delta_{ab}.\end{aligned}\tag{26}$$

2.7. Obliczenie przybliżonych współrzędnych równikowych środka fotogramu

Przybliżone współrzędne równikowe środka fotogramu (A , D) obliczamy jako:

$$\begin{aligned}A &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i; \\ D &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i,\end{aligned}\tag{27}$$

gdzie: A , D — współrzędne równikowe środka fotogramu, n — liczba gwiazd użytych w procesie identyfikacji.

2.8. Obliczenie współrzędnych idealnych gwiazd identyfikacyjnych

Współrzędne idealne ξ , η wszystkich gwiazd identyfikacyjnych liczymy za pomocą następujących wzorów [4]:

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{\cos \delta \sin (\alpha - A) \varrho''}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos (\alpha - A)} \\ \eta &= \frac{\sin \delta \cos D - \cos \delta \sin D \cos (\alpha - A)}{\sin \delta \sin D + \cos \delta \cos D \cos (\alpha - A)} \varrho''.\end{aligned}\tag{28}$$

2.9. Obliczenie parametrów transformacji afinicznej

Do przeliczenia współrzędnych płaskich x , y na współrzędne idealne ξ , η zastosowano transformację afiniczną, znaną w astrometrii fotograficznej pod nazwą liniowej metody Turnera. Wyznaczenie parametrów tej

transformacji polega na rozwiązaniu metodą najmniejszych kwadratów $2n$ równań błędów o postaci:

$$\begin{aligned}v_{\xi} &= P_1 x_i + P_2 y_i + P_5 - \xi_i, \\v_{\eta_i} &= P_3 x_i + P_4 y_i + P_6 - \eta_i.\end{aligned}\quad (29)$$

gdzie: $P_1, P_2 \dots P_5, P_6$ — parametry transformacji, n — liczba gwiazd identyfikacyjnych.

2.10. Kontrola dopasowania środka fotogramu

Obliczenie współrzędnych idealnych jest realizowane przez proces iteracyjny. Ważne jest, aby położenie punktu odpowiadającego środkowi fotogramu na sferze niebieskiej znane było z błędem nie przekraczającym $\pm 10''$. Dlatego też konieczna jest kontrola czy

$$|P_5^2 + P_6^2| \leq 100. \quad (30)$$

Jeżeli kryterium to nie jest spełnione, to obliczane są poprawki (ΔA i ΔD) do współrzędnych równikowych środka optycznego negatywu za pomocą zależności:

$$\begin{aligned}\Delta D &= P_6, \\ \Delta A &= \frac{1}{15} P_5 \cos(D + \Delta D).\end{aligned}\quad (31)$$

Po poprawieniu współrzędnych A i D wykonuje się kolejny cykl iteracyjny (od punktu 2.8., patrz schemat blokowy programu).

2.11. Transformacja afiniczna gwiazd identyfikacyjnych

W celu skontrolowania poprawności obliczenia parametrów transformacji wykonuje się transformację gwiazd identyfikacyjnych przy użyciu wzorów:

$$\begin{aligned}\xi_i &= P_1 x_i + P_2 y_i + P_5, \\ \eta_i &= P_3 x_i + P_4 y_i + P_6.\end{aligned}\quad (32)$$

2.12. Kontrola różnic współrzędnych gwiazd przed i po transformacji oraz eliminacja gwiazd błędnie zidentyfikowanych

Dla wszystkich gwiazd identyfikacyjnych liczone są błędy pozorne

$$\begin{aligned} v_{\xi_i} &= \bar{\xi}_i - \xi_i, \\ v_{\eta_i} &= \bar{\eta}_i - \eta_i. \end{aligned} \quad (33)$$

oraz

$$v_i = \left| \sqrt{v_{\xi_i}^2 + v_{\eta_i}^2} \right|. \quad (34)$$

Z kolei wybiera się największą wartość ($\max v_i$) i porównuje się ją z wartością graniczną przyjętą jako równą $10''$.

Jeżeli

$$\max v_i > 10'', \quad (35)$$

to i -ta gwiazda eliminowana jest z dalszych obliczeń.

Jeżeli liczba gwiazd identyfikacyjnych po tej eliminacji jest większa od 3, to należy powtórzyć obliczenia opisane w punktach od 2.9., do 2.12. Proces iteracji powtarzany jest tak długo aż kryteria (30) i (35) są spełnione, zaś liczba gwiazd identyfikacyjnych pozostaje większa od 3. W przypadku mniejszej liczby gwiazd proces wyznaczania parametrów transformacji afinicznej traci sens i obliczenia powinny zostać przerwane.

2.13. Transformacja współrzędnych x, y identyfikowanych gwiazd oporowych na współrzędne idealne tych gwiazd

Transformacja identyfikowanych gwiazd oporowych wykonywana jest za pomocą wzorów (32).

2.14. Obliczenie współrzędnych równikowych (α, δ) gwiazd oporowych

Obliczenia wykonuje się za pomocą następujących wzorów:

$$\begin{aligned} \alpha &= A + \arctg \frac{\xi}{\cos D - \eta \sin D}, \\ \delta &= \arctg \left[\frac{\sin D + \eta \cos D}{\cos D - \eta \sin D} \cos(\alpha - A) \right]. \end{aligned} \quad (36)$$

2.15. Obliczenie współrzędnych równikowych gwiazd oporowych na epokę katalogu

Współrzędne równikowe gwiazd oporowych po identyfikacji obciążone są wpływem refrakcji i aberracji rocznej. Do obliczenia poprawek ze względu na refrakcję i aberrację konieczna jest znajomość współrzędnych

średnich na epokę obserwacji. Wykorzystując wzory przedstawione w punkcie 2.6. wykonano kolejno następujące obliczenia:

— obliczenie przybliżonych wartości poprawek $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ ze względu na wpływ refrakcji i aberracji (wzory: (22), (23), (24), (25)),

— obliczenie przybliżonych wartości średnich współrzędnych na epokę katalogu α_p , δ_p według wzorów:

$$\begin{aligned}\alpha_p &= \alpha - \Delta\alpha_r - \Delta\alpha_{ab}, \\ \delta_p &= \delta - \Delta\delta_r - \Delta\delta_{ab},\end{aligned}\tag{37}$$

Na podstawie tych współrzędnych obliczono (za pomocą wzorów (20) i (21)) przybliżone wartości średnich współrzędnych równikowych na epokę obserwacji, a na ich podstawie obliczono ostateczne wartości poprawek ze względu na refrakcję i aberrację (za pomocą wyżej cytowanych wzorów).

Wartości współrzędnych równikowych (α_k , δ_k) gwiazd oporowych na epokę katalogu otrzymamy na podstawie następujących wzorów:

$$\begin{aligned}\alpha_k &= \alpha - \Delta\alpha_r - \Delta\alpha_{ab}, \\ \delta_k &= \delta - \Delta\delta_r - \Delta\delta_{ab}.\end{aligned}\tag{38}$$

2.16. Porządkowanie gwiazd oporowych według wzrastających rektascenzji

Następnym etapem pracy jest uporządkowanie gwiazd w kolejności wzrastających wartości rektascenzji. Dysponowanie wykazem współrzędnych gwiazd tak uporządkowanych wydatnie zmniejsza pracochłonność przygotowania danych katalogowych do dalszego opracowania, ponieważ w takim właśnie porządku ułożone są katalogi gwiazd.

2.17. Wyprowadzenie wyników identyfikacji

Wyniki identyfikacji wyprowadzane są za pomocą dwóch urządzeń periferyjnych komputera Odra-1204: drukarki wierszowej oraz perforatora taśmy papierowej. Na drukarkę wprowadzane są dane o fotogramie, wyniki kontroli pomiarów, informacje dotyczące kwalifikacji fotogramu (2.2.1, 2.2.2) oraz wyniki identyfikacji gwiazd oporowych (z pominięciem gwiazd identyfikacyjnych), w kolejności wzrastających rektascenzji. Na tabulogramie przewidziano miejsce na wypisanie z katalogu poprawnych końcówek współrzędnych oraz ruchów własnych gwiazd (rys. 1).

Natomiast na taśmę perforowaną wyprowadzane są, w niżej podanej kolejności, dane potrzebne do dalszego numerycznego opracowania negatywu. Są to:

- 1) Dane o fotogramie i wielkości pomocnicze:
 - 1) numer fotogramu,
 - 2) liczba poprawnych gwiazd oporowych,
 - 3) liczba poprawnych śladów satelity,
 - 4) moment synchroniczny,
 - 5) czas gwiazdowy momentu ekspozycji,
 - 6) współrzędne równikowe środka fotogramu,
 - 7) nachylenie ekliptyki do równika,
 - 8) wielkości redukcyjne Bessela,
 - 9) eulerowskie kąty precesji.
- 2) Dane dotyczące obrazów gwiazd oporowych i śladów satelity:
 - 10) współrzędne α , δ gwiazd identyfikacyjnych poprawione o wpływ refrakcji i aberracji,
 - 11) współrzędne α , δ identyfikowanych gwiazd oporowych uzyskane w procesie identyfikacji,
 - 12) wartości poprawek do współrzędnych gwiazd oporowych, wynikające z wpływu refrakcji i aberracji rocznej,
 - 13) uśrednione współrzędne x , y gwiazd oporowych i śladów satelity poprawione o wpływ parametrów kamery,
 - 14) momenty czasu ekspozycji śladów satelity.

*

*

*

Program IDENTAUT-L, realizujący opisany algorytm wstępnego opracowania fotogramów satelitów jasnych wykonanych kamerą AFU 75 i pomierzonych koordynatometrem Zeissa Ascorecord, został napisany przez autorów w języku ALGOL-1204. Realizacja programu przez komputer ODRA-1204 dla fotogramów zawierających $25 \div 30$ gwiazd oporowych trwa około 3 minut. Uzyskane w wyniku identyfikacji współrzędne równikowe gwiazd oporowych nie odbiegają, w zasadzie, od wartości katalogowych więcej niż $3''$.

Program zostanie opublikowany w początku 1977 roku wraz z zespołem programów wchodzących w skład systemu „CORSAT-System” [1].

Czytelnicy zainteresowani programem mogą skorzystać z niego wcześniej, porozumiewając się z autorami lub z Zakładem Astronomii Instytutu Geodezji i Kartografii.

DATA OBLICZEN 1975. 12 09

FOTOGRAM NR 4757

WYNIKI KONTROLI DANYCH

SLAD SATELITY NR NR BLEDNYCH POMIAROW

4,

OBRAZY GWIAZD

12, 13, GW IDENT

17,

ZNACZKI CZASOWE

WSPOLRZEDNE GWIAZD PO IDENTYFIKACJI

NR	ALFA	DA	MIA	DELTA	DD	MID
19	2 35 21.0	_____ . _____	_____ . _____	44 20 47	_____ . _____	_____ . _____
16	2 37 21.8	_____ . _____	_____ . _____	43 52 37	_____ . _____	_____ . _____
20	2 38 28.7	_____ . _____	_____ . _____	45 16 53	_____ . _____	_____ . _____

9	2 48 24.1	_____ . _____	_____ . _____	44 51 15	_____ . _____	_____ . _____
8	2 52 47.0	_____ . _____	_____ . _____	44 46 50	_____ . _____	_____ . _____
6	2 54 31.4	_____ . _____	_____ . _____	46 27 41	_____ . _____	_____ . _____

Rys. 1

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Czarnecki K., Rogowski J.B.*: Koncepcja systemu automatycznego opracowania fotograficznych obserwacji Sztucznych Satelitów Ziemi, Prace IGiK, Tom XXIII, Zeszyt 2 (53), 1976.
- [2] Instrukcja. Techniczskie ukazania po wycisleniu i urawniwaniu koordnat punktow po riezultatam nabludienij passywnych ISZ fotoustanowkoj AFU-75.
- [3] *Błażko S.N.*: Kurs Sfieryczeskoj Astronomii, Moskwa 1948.
- [4] *Bogusławska J.J.*: Fotograficzeskaja Astrometrija, Moskwa 1947.
- [5] *Firago B.A.*: Mietodyka astronomiczeskoj obrabotki synchronnych nabludienij ISZ, Nabludienija ISZ, No. 2, 1963.
- [6] Mietody Wycislenija Topocentryczeskich Koordnat Iskusstwiennych Sputnikow Ziemi po ich Fotograficzeskich Nabludienijach, Interkosmos, Moskwa 1969.

Recenzował prof. dr hab. Wiesław Opalski

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1967 r.

КАЗИМЕЖ А. ЧАРНЕЦКИ
ЕЖИ В. РОГОВСКИ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ВОСПРОИЗВЕДЕННЫХ НА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ФОТОГРАММАХ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Резюме

Представлен алгоритм вступительного процесса обработки спутниковых фотографий и отождествления опорных звезд. Конструкция алгоритма подчинена конструкции автоматической системы обработки спутниковых фотографий „CORSAТ-System” представленной авторами в работе [1].

К основным задачам описанного алгоритма принадлежат:

1) всесторонний контроль исходных данных, являющихся основной частью информации пополняющей целую систему автоматической разработки спутниковых фотографий,

2) квалификация качества спутниковых наблюдений на основе результатов измерений прямоугольных координат объектов воспроизведенных на фотографии и принятие решения относительно дальнейшей обработки и использования фотографии,

3) преобразование сбора исходных данных — результатов измерений фотографий, в форме зависимой от программы наблюдений и техники измерения фотографии, в сбор информации необходимой для дальнейшей аналитической обработки. В системе „CORSAТ-System” исходные информации не зависят от программы наблюдения и техники измерения. В состав этой информации входят:

— средние величины прямоугольных координат звезд, следов спутника и межзвездного времени,

— моменты экспозиции следов спутника,

4) вычисление вспомогательных величин пригодных в процессе идентификации звезд, как и при дальнейшей аналитической обработке. Это следующие данные:

- среднее звездное время синхронического момента.
- экваториальные координаты середины фотограммы.
- редуцированные величины Бесселя.
- эулеровские углы прецессии.
- поправки к координатам опорных звезд принимая во внимание рефракцию годичную и аберрацию.

5) отождествление опорных звезд на основе данных каталожных координат по крайней мере четырех звезд воспроизведенных на фотограмме.

6) выведение результатов отождествления в зависимости от их дальнейшего использования:

- на компьютерном носителе информации тех результатов, которые будут пригодны при дальнейшей аналитической обработке.

- на печатной машине результатов контроля фотограммы и списка экваториальных координат идентифицированных звезд, составленного в форме табулограммы, приспособленной для дополнения ей информацией необходимыми при дальнейшей обработке.

Задачи, описанные в пунктах 1, 2, 3, решены с предназначением обработки фотограмм ярких спутников, наблюдаемых камерой AFU-75 и измеренных с помощью координатометра Ascorecord фирмы Zeiss. Представленный алгоритм создан на основе методов известных в фотографической астрометрии и публикаций, касающихся фотограмм выполненных камерой AFU-75 [2], некоторые фрагменты алгоритма разработаны авторами.

Главную мысль алгоритма можно изложить следующим образом:

1) учитывая экономику астрометрического процесса обработки фотограмм, следует в фазе вступительной обработки выполнить весь контроль результатов измерений и на их основе оценить пригодность фотограмм для дальнейшей обработки.

2) по этому же поводу следует обеспечить достаточную точность идентификации, так чтобы возможно было использование значений вспомогательных величин, вычисленных в процессе идентификации, также в дальнейшей части обработки.

3) конструкция алгоритма имеет возможность простой адаптации для обработки фотограмм выполненных другими программами (например, слабыми спутниками) и с помощью других камер.

Представленный алгоритм выполняет эти условия. Алгоритм создан в виде программы с названием IDENTAUT-L на языке ALGOL-1204. Время работы программы при обработке фотограмм содержащих 25÷30 опорных звезд составляет около 3 минут. Величины координат, являющиеся результатам идентификации, не отходят — в основном — от каталожных величин больше чем на 3".

Программой IDENTAUT-L можно пользоваться по соглашению с авторами или с Отделом астрономии Института геодезии и картографии.

KAZIMIERZ A. CZARNECKI
JERZY B. ROGOWSKI

AUTOMATIC IDENTIFICATION OF OBJECTS REPRESENTED ON THE ARTIFICIAL EARTH SATELLITES OBSERVATION PHOTOGRAMMES

Summary

Algorithm of the preliminary elaboration process of satellite photogrammes and of reference stars identification is introduced in this paper. The structure of the algorithm has been subjected to the conception of the satellite photogrammes automatic elaboration system — „CORSAAT-System”, discussed by the authors in [1].

The basic tasks of the above mentioned algorithm are the following:

1) versatile controls of the input data being an essential part of the information, feeding the whole system of satellite photogrammes automatic elaboration;

2) evaluation of the quality of satellite observations on the basis of the results of orthogonal coordinates measurements of an object represented on a photogramme and decision concerning further elaboration and application of the photogramme;

3) transformation of the input data set (photogramme measurement results of a figure depending on the observation programme and photogramme measurement method) into a set of information required to further analytic elaboration. In „CORSAAT-System” the input data do not depend on the observation programme and measurement method. These informations comprise the following:

— mean values of orthogonal coordinates of stars, of satellite trail, and time marks,

— moments of satellite trail exposure.

4) calculation of auxiliary values useful both in star identification process and in further analytical elaboration, comprising the following data:

— mean sidereal time of the synchronic moment,

— equatorial coordinates of a photogramme centre,

— Beselian numbers,

— Euler's precession angles,

— corrections to reference stars coordinates due to annual aberration and refraction.

5) reference stars identification on the basis of catalogue coordinates data of at least four stars projected on a photogramme,

6) derivation of identification results with respect to their further application:

— on a computer data carrier of these results which will be useful in further analytic elaboration,

— on a printer of the photogramme control results and of specification of equatorial coordinates of stars, prepared in the form of a table adapted to its complementing with information required in further elaboration.

The tasks specified in 1,2,3 have been developed to elaborate photogrammes of bright satellites observed with AFU 75 camera and measured with Ascorecord coordinatometer manufactured by the C. Zeiss-Jena. Presented algorithm has been developed on the basis of known photographic astrometry methods and publications concerning photogrammes made with AFU-75 camera (2); some fragments of the algorithm was elaborated by the authors of this paper. The central idea of the algorithm can be summed up in the following way:

1) due to economy of photogrammes astrometrical elaboration all controls of the measurement results should be concluded in the stage of preliminary elaboration. The useability of photogramme for further elaboration should be evaluated on the same basis,

2) due to the same reason proper precision of identification should be warranted in order to make it possible to use the auxiliary values calculated in the course of stars identification, also in further stages of elaboration,

3) structure of the algorithm should enable its simple adaptation in elaboration of the photogrammes made by different programmes i.e.: for faint satellites, for photogrammes made others cameras etc.

Presented algorithm complies with these requirements. It was made in the form of a programme called IDENTAUT-L in the ALGOL-1204 language. The time of the programme operation in the case of elaboration of 25÷30 reference stars photogrammes is about 3 minutes. Values of the coordinates resulting from identification do not depart, in principle, from the catalogue values more than 3".

The IDENTAUT-L programme can be used in consultation with the authors of this paper or with the Astronomy Department of the Institute of Geodesy and Cartography.

