

Zdjęcia lotnicze i zobrazenia satelitarne — stan obecny i perspektywy, cz. I

Jakie jutro dla zdjęć?

ZDZISŁAW KURCZYŃSKI

Od zaistnienia możliwości fotografowania z powietrza, tj. od początków awiacji, obserwuje się stałe doskonalenie kamer lotniczych i wykorzystanie zdjęć lotniczych do celów pomiarowych. Poprawianie mechaniki i optyki kamer lotniczych, jakości filmów oraz metod opracowania miało ten skutek praktyczny, że metody fotogrametryczne wkraczały w coraz to większe skale opracowań oraz stopniowo zmieniała się relacja między skalą opracowania a skalą zdjęć, z wynikającymi stąd efektami ekonomicznymi.

Na tle tych ewolucyjnych zmian w zakresie zdjęć lotniczych można zaobserwować jakościowe „skokowe” zmiany zapoczątkowane w drugiej połowie lat 80. „Nowa jakość” zdjęć lotniczych jest wytyczana przez:

- kamery FMC (Forward Motion Compensation – kompensacja ruchu postępowego samolotu),
- stabilizowane zawieszenia kamery kompensujące rozmywanie obrazu spowodowane ruchami kątowymi kamery (AMC: Angular Motion Compensation),
- nową generację obiektywów,
- upowszechnienie technologii GPS do nawigacji, sterowania pracą kamery i precyzyjnego wyznaczania współrzędnych środków rzutów kamery,
- udane próby pomiaru kątowych elementów orientacji kamery w locie.

Jakie skutki praktyczne pociąga taka skokowa zmiana jakości zdjęć? Równocześnie szybko rozwija się fotogrametria cyfrowa, z cyfrową postacią danych na wejściu. Aby opracować klasyczne (analogowe) zdjęcia metodami fotogrametrii cyfrowej, należy je najpierw zeskanować. Obserwuje się rozwój specjalizowanych skanerów do skanowania zdjęć lotniczych. Pojawia się pytanie: jak skanować zdjęcia (z jaką rozdzielczością), aby w procesie skanowania nie zdegradować ich wyjściowej jakości?

Obok tradycyjnych zdjęć lotniczych szybko rozwijają się kamery CCD (z prostokątną matrycą sensorów) i skanery elektrooptyczne (z linią sensorów), dostarczające obrazy w postaci cyfrowej. Ten rozwój jest zauważalny szczególnie w zakresie obrazowania Ziemi z kosmosu. Jaki jest potencjał kartograficzny tych zobrażeń? Czy i jaki wpływ ma ten rozwój na tradycyjne zdjęcia lotnicze? Jaka jest wobec tego przyszłość tradycyjnych zdjęć lotniczych? Artykuł niniejszy jest próbą oceny obecnego stanu zdjęć lotniczych i zobrażeń satelitarnych oraz odpowiedzi na postawione pytania.

Współczesne lotnicze kamery pomiarowe – nowa generacja obiektywów

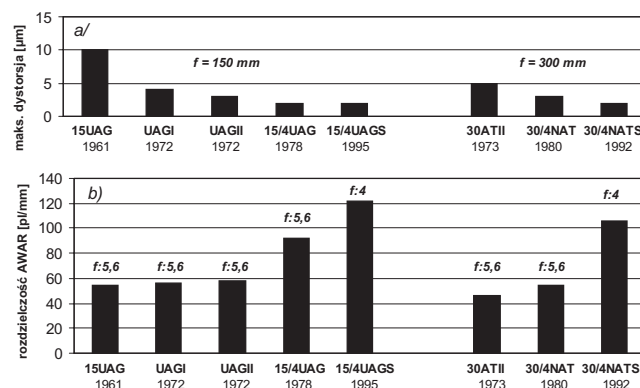
Potencjał pomiarowy zdjęcia określa w pierwszym rzędzie jakość obiektywu kamery. Tę jakość wyrażają maksymalne błędy geome-

tryczne (dystorsja) i zdolność rozdzielcza. Zdolność rozdzielczą wyraża się zwykle liczbą par linii, jaką jest w stanie odwzorować obiektyw w jednym milimetrze obrazu (para linii to linia czarna i biała). Zwykle podaje się tę zdolność dla układu: obiektyw – film, w formie wskaźnika AWAR (Area Weighted Average Resolution), tj. średniej zdolności rozdzielczej w kierunku radialnym i tangencjalnym, ważonej w całym formacie zdjęcia. Głównie dzięki komputerowemu projektowaniu obiektywów obserwuje się duży postęp w tym zakresie:

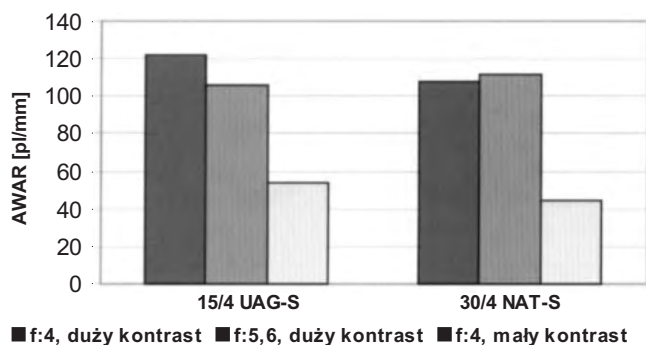
- od rozdzielczości rzędu 50-60 par linii/mm i dystorsji 10 μ m w latach 60. i 70.,
- do rozdzielczości rzędu 110-120 par linii/mm i dystorsji 2 μ m w początkach lat 90.

Zmianom tym towarzyszą dodatkowe cechy:

1. Zdolność rozdzielcza jest bardziej wyrównana w całym polu widzenia obiektywu, nie ma obserwowanego dawniej drastycznego jej spadku ku brzegom zdjęcia,
2. Dawniej obiektyw „najostrzej rysował” przy przysłonie przymkniętej do wartości około f:8, obecnie to optimum znajduje się praktycznie przy pełnym otworze przysłony, tj. dla f:4 do f:5,6.



Rys. 1. Rozwój obiektywów Wild/Leica: a) dystorsja dla maksymalnej wartości przysłony, b) rozdzielczość dla dużego kontrastu obiektu i optymalnej przysłony (Film Kodak Panatomic-X 2412, kontrast 1000:1)



Rys. 2. Zdolność rozdzielcza nowych obiektywów Leica dla kontrastu dużego $K=1000:1$ oraz małego $K=1,6:1$

Producenci zarówno kamer, jak i filmów chętnie podają zdolność rozdzielczą dla kontrastowych obiektów, zwykle dla testów o kontraście $K=100:1$ (tj. $\log K=2$). Taka charakterystyka jest oderwana od rzeczywistości zdjęć lotniczych. Takie kontrasty nie występują w typowej scenie widzianej przez kamerę lotniczą, przeciwnie, przeważają kontrasty średnie i małe. Dla użytkownika o wiele więcej mówiąca jest zdolność rozdzielcza dla małych kontrastów, wyznaczana dla kontrastu $K=1,6:1$ (tj. $\log K=0,2$). Obserwuje się polepszenie zdolności rozdzielczej najnowszych obiektywów w tym zakresie (zwykle nie podawane w metrykach kamer).

Przedstawione trendy można zaobserwować na przykładzie obiektywów Wild/Leica: szerokokątnego UAG i normalnokątnego NAT (rys. 1 i 2). Uzyskane zdolności rozdzielcze współczesnych obiektywów zbliżają się do wartości teoretycznych, limitowanych jedynie dyfrakcją światła. Podobnie można powiedzieć o ich jakości geometrycznej. Szczątkowa dystorsja obiektywów w całym polu widzenia nie przekracza $2 \mu m$ (zwykle jest mniejsza od $1 \mu m$). Oznacza to, że obiektywy nowej generacji są praktycznie wolne od dystorsji. Możliwości dalszej poprawy zarówno jakości geometrycznej, jak i rozdzielczości obiektywów typowych kamer lotniczych są praktycznie wyczerpane [11].

Kompensacja rozmazania (FMC)

W wyniku ruchu postępowego samolotu w czasie otwarcia migawki kamery następuje rozmazanie obrazu. Wyjściem z trudności jest stosowanie odpowiednio krótkich czasów ekspozycji. Czas ekspozycji jest wartością krytyczną szczególnie dla zdjęć wielkoskalowych. Na przykład przy zdjęciach w skali $1:5\,000$, prędkości samolotu $V=220 \text{ km/h}$ i dopuszczalnym rozmazaniu $ds=0,02 \text{ mm}$ taki maksymalny czas ekspozycji wyniosłby $1/600 \text{ s}$ (!). Jest to możliwe tylko przy wysokoczułym, a więc gruboziarnistym filmie, co prowadzi do obniżenia rozdzielczości. Od dawna czyniono próby kompensacji rozmazania w czasie ekspozycji, ale dopiero w latach 80. pojawiły się na rynku konstrukcje, które ten problem rozwiązały skutecznie. Są to tzw. kamery FMC:

- Zeiss Jena (od 1982): LMK, LMK1000, LMK 2000, LMK 3000,
- Carl Zeiss (od 1984): RMK TOP,
- Leica (od 1987): RC 20, RC 30,
- CNIIGAIK Moskwa: AFA-TK-10/18 (format $18 \times 18 \text{ cm}$).

We wszystkich tych kamerach kompensacja rozmazania jest realizowana poprzez mechaniczny ruch płyty wypłaszczającej z filmem względem ramki tłowej z prędkością równą prędkości obrazu w płaszczyźnie ramki tłowej. Stosowanie kamer FMC umożliwiło skokowy wzrost zdolności rozdzielczej zdjęć lotniczych dzięki:

- kompensacji rozmazania spowodowanego ruchem samolotu,
- kamery FMC kompensując rozmazanie umożliwiają stosowanie długich czasów ekspozycji (rzędu $1/200$ - $1/100 \text{ s}$, a nawet $1/50 \text{ s}$).

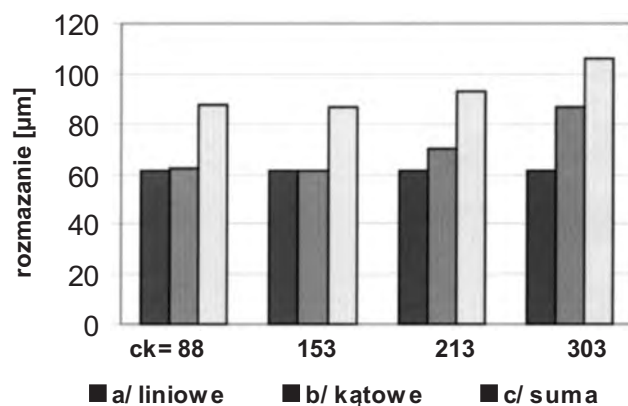
Daje to możliwości stosowania drobnoziarnistych średnio- i niskoczułych filmów lotniczych, co sprzyja dalszemu wzrostowi rozdzielczości zdjęć.

Ocenia się, że jeśli rozmazanie obrazu jest mniejsze od połowy elementu rozdzielczości, to stosowanie kompensacji nie przynosi efektów. Może to mieć miejsce w przypadku zdjęć drobnoskalowych na średnioczułych filmach.

Stabilizacja kątowa kamery

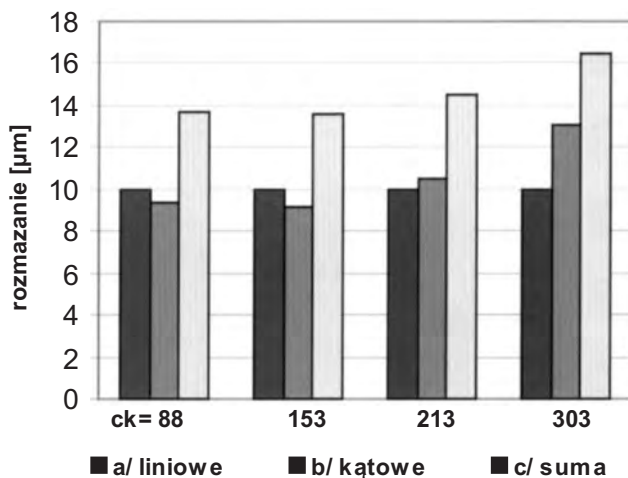
Po uporaniu się z rozmazaniem obrazu spowodowanym ruchem samolotu okazało się, że kolejną barierą na drodze dalszej poprawy zdolności rozdzielczej zdjęć są rozmazania obrazu spowodowane drganiami liniowymi i niestabilnością kątową kamery. Wyjątkowo groźne okazały się drgania kątowe. Stanowiły one przeszkodę szczególnie w stosowaniu drobnoziarnistych filmów wymagających dłuższych czasów ekspozycji. Ograniczało to zalety kamer FMC. Pojawiły się nowe, stabilizowane zawieszenia kamer pomiarowych:

- SM 2000: Carl Zeiss Jena (1990) do kamer serii LMK 2000,
- T-AS: Zeiss Oberkochen (1991) do kamery RMK TOP,
- PAV 30: Leica (1995) do kamery RC 30.



Rys. 3. Przewidywane rozmazanie obrazu (zdjęcia $1:5\,000$, 141 mm od środka, prędkość lotu $V=220 \text{ km/h}$, czas ekspozycji $1/200 \text{ s}$):

- a) liniowe (spowodowane ruchem samolotu),
- b) kątowe ($2^\circ/\text{s}$ wokół każdej osi, tj. dla typowej turbulencji),
- c) efekt sumaryczny.



Rys. 4. Szczątkowe rozmazanie obrazu dla kamery FMC na stabilizowanym podwieszeniu (warunki jak dla rys. 3):

- a) liniowe (deniwelacje, błędy sterowania FMC),
- b) kątowe ($0,3^\circ/\text{s}$ wokół każdej osi),
- c) efekt sumaryczny.



Zawieszenia te, bazując na efekcie żyroskopowym, utrzymują osł kamery w pionowym położeniu, niezależniąc ją od turbulentnych ruchów samolotu. Dodatkowo nowsze konstrukcje amortyzatorów skuteczniej izolują kamerę od niskoamplitudowych, wysokoczęstotliwościowych liniowych drgań konstrukcji samolotu (drganie od silnika, drganie turbulentne i inne). Parametry wymienionych stabilizowanych zawieszek kamery są zbliżone. Dla PAV 30 wynoszą:

- stopień stabilizacji kątowej $\geq 10:1$ (typowo 30:1),
 - błąd pionowania osi kamery $0,3^\circ$,
 - prędkość kątowa szczytkowych ruchów kątowych kamery $0,3^\circ/s$.
- Kompensacja ruchu postępowego (kamery FMC) i ruchów kątowych (AMC) umożliwiły w zakresie zdjęć wielkoskalowych stosowanie filmów barwnych i średnioczułych, drobnopiękniowych filmów czarno-białych (takich jak Kodak Plus-X 2402 czy Aviphot Pan 150 o rozdzielczości rzędu 80-130 pl/mm dla dużego i 40-55 pl/mm dla małego kontrastu), a w zakresie zdjęć średnio- i drobnoskalowych, niskoczułych, superdrobnopiękniowych filmów (takich jak Kodak Panatomic-X 2412, czy Agfa Aviphot Pan 50 o rozdzielczości rzędu 200-400 pl/mm dla dużego i 80-120 pl/mm dla małego kontrastu). Dało to w sumarycznym efekcie skokowy wzrost zdolności rozdzielczej, szczególnie wielkoskalowych zdjęć lotniczych. Wpływ rozmycia obrazu spowodowany ruchem samolotu oraz niestabilnością kątową kamery ilustruje rys. 3. Jest to ilustracja przypadku zdjęć wielkoskalowych (1:5 000) i typowych warunków lotu (prędkość 220 km/h, obroty kamery z prędkością $2^\circ/s$ wokół każdej osi, tj. dla typowej turbulencji lotu). Z rysunku widać, że dla czasu ekspozycji 1/200 s należy się spodziewać rozmycia spowodowanego ruchem samolotu na poziomie 0,06 mm oraz obrotami kamery na poziomie 0,06-0,09 mm (założono niezależność i przypadkowość każdego ruchu). Wartości te byłyby odpowiednio mniejsze przy krótszym czasie ekspozycji. Rysunek 4 ilustruje spodziewane szczytkowe rozmycia obrazu dla tych samych warunków, ale w przypadku stosowania kamery FMC na stabilizowanym podwieszeniu. Założono stałą wartość nie wyeliminowanego rozmycia liniowego równą 0,01 mm z tytułu wpływu deniwelacji i błędów sterowania kompensacją. Widać, że sumaryczne nieostrości, jakie mogą wystąpić na zdjęciu, są na poziomie 0,014-0,016 mm. Porównanie obu przypadków daje pogląd o przyroście jakości zdjęć wielkoskalowych. W zakresie zdjęć średnio- i drobnoskalowych ten przyrost jakości nie jest aż tak widoczny.

Systemy nawigacyjne oparte na GPS

Wszystkie kamery lotnicze nowej generacji (serii LMK, RMK TOP, RC 20 i 30) są przystosowane do współpracy z systemami nawigacyjnymi bazującymi na odbiornikach GPS. Powstały wyspecjalizowane systemy, takie jak CCNS-4, T-Flight (Zeiss), ASCOT (Leica). Pozwalają one na zaprojektowanie misji fotolotniczej w formie analitycznej, a następnie jej realizację pod nadzorem systemu. Dawniej samolot nad obiektem był nawigowany wizualnie, a kamera była wyzwolana przez regulator pokrycia sterowany „ręcznie”. Przy nawigacji wizualnej trudno było utrzymać samolot na zaprojektowanej osi szeregu z dokładnością wymaganą dla dużych skal zdjęć, a położenie środków zdjęć w szeregu było poza kontrolą. W przypadku sprzężenia kamery z systemem nawigacyjnym wyzwolenie kamery następuje w zaprojektowanych miejscach przestrzeni, a samolot jest prowadzony według wskazań systemu. Oznacza to, że środki zdjęć tworzą bardzo regularną siatkę, tzw. blok symetryczny. Odstępstwa faktycznego położenia zdjęć od zaprojektowanych są rzędu 30-70 m, co spełnia tolerancje nawigacyjne nawet dla największych skal. Z pomocą systemów nawigacyjnych sprzężonych z kamerą łatwo jest realizować tzw. zdjęcia celowane. Ma to szczególne

znaczenie przy wykonawstwie zdjęć dla tworzenia ortofotomap. Planuje się wówczas wyzwolenie kamery nad środkiem sekcji mapy, a ortofotomapa powstaje z przetworzenia tylko jednego zdjęcia, pokrywającego całą sekcję. Stosowanie systemów nawigacyjnych daje i inne korzyści:

- na etapie projektowania łatwiej jest zaplanować optymalne położenie punktów polowej osnowy fotogrametrycznej (F-punktów),
- dzięki „symetrii” blok jest bardziej „sztywny” geometrycznie, w procesie aerotriangulacji wystarcza nieco mniej punktów przejściowych i fotopunktów,
- występuje mniej zdjęć odrzuconych z powodu niezachowania tolerancji nawigacyjnych (dotyczy szczególnie dużych skal),
- „symetria” bloku jest bardzo pożądana w procesie automatycznej aerotriangulacji.

Nową i bardzo doniosłą możliwością systemów nawigacyjnych opartych na GPS jest precyzyjny pomiar współrzędnych środków rzutów kamery w locie, w momencie wykonania zdjęcia. Jest to pomiar kinetyczny, różnicowy (technologia DGPS – differential GPS), odniesiony do 1-2 aktywnych stacji naziemnych, położonych na znanych punktach. Intensywne badania i testy wykazały, że te naziemne odbiorniki GPS mogą być znacznie oddalone od obszaru fotografowanego. Można do tego celu wykorzystać permanentnie działające stacje GPS na danym obszarze. Błąd położenia kamery określony na tej drodze jest mniejszy od 0,1 m. Taka dokładność jest zadowalająca nawet dla dużych skal zdjęć. Znajomość współrzędnych środków rzutów zdjęć istotnie zmienia technologię aerotriangulacji. Zmiana ta wyraża się radykalnym zmniejszeniem liczby punktów osnowy polowej (mniej pomiarów terenowych, a w przypadku zdjęć wielkoskalowych – dodatkowo mniej punktów sygnalizowanych w terenie przed nalotem). Dla regularnego bloku zdjęć wystarcza praktycznie 4-8 fotopunktów.

Należy dodać, że stosowanie technologii GPS zarówno dla nawigacji, jak i precyzyjnego pomiaru położenia kamery już dawno z fazy eksperymentów przeszło w fazę operacyjną. Od początku lat 90. stało się standardową opcją produkcyjną. Wszystkie składowe elementy technologii są dostępne na rynku komercyjnym (systemy nawigacyjne, software, pakiety wyrównania aerotriangulacji z opcją GPS). W Polsce systemy nawigacyjne oparte na GPS są stosowane od około 5 lat, a pomiar środków rzutów kamery w locie zastosowano po raz pierwszy w 1995 roku (obiekt „Poznań” i „Częstochowa”) oraz szerzej w 1997 roku, przy zdjęciach miast realizowanych w ramach programu PHARE. Pomiar położenia kamery podraża koszt zdjęć wielkoskalowych o około 10-40%. Są to koszty mniejsze od efektów na dalszych etapach wykorzystania zdjęć dla celów pomiarowych.

Pomiar orientacji kątowej kamery – zintegrowane systemy nawigacyjne

Pomiar wszystkich elementów orientacji kamery w locie oznaczałby możliwość pomiarowego wykorzystania zdjęć bez osnowy polowej. Technologia DGPS pozwala na precyzyjne wyznaczenie współrzędnych kamery i znalazła już uznanie w produkcyjnej praktyce wykonawstwa zdjęć. A co z orientacją kątową kamery? Już od lat 30. próbuje się określić w locie elementy kątowej orientacji kamery. Wyniki nie są zadowalające z punktu widzenia potrzeb pomiarowego opracowania fotogrametrycznego. Z pojawieniem się technologii GPS próbuje się wykorzystać ją również do pomiaru kątów nachylenia kamery (a ściślej mówiąc samolotu), w tzw. metodzie „wieloantennej”. Polega to na instalacji w samolocie 3-4 anten GPS: na końcach skrzydeł i kadłuba. Z różnic współrzędnych anten moż-

na określić elementy kątowej orientacji bryły samolotu, utożsamiane z elementami orientacji samej kamery. Ta metoda pozwala określić te elementy z dokładnością 0,2°-0,4°. Taka dokładność nie jest wystarczająca dla opracowań pomiarowych. Dalszą poprawę dokładności i duże nadzieje wiąże się z tzw. zintegrowanymi systemami nawigacyjnymi. Jest to sprzężenie GPS-u z tanim systemem INS niższej klasy (INS – Inertial Navigation System: inercyjny system nawigacyjny, systemy INS wysokiej klasy są bardzo kosztowne). Oba systemy są komplementarne pod względem propagacji błędów. Systemy GPS wykazują bardzo wysoką i stabilną dokładność w długim przedziale czasu, ale są podatne na krótkookresowe zakłócenia (np. problem nieoznaczoności spowodowany krótkotrwałymi utratami łączności z satelitami na skutek przesłonięcia satelity skrzydłem samolotu w czasie manewru nawrotu między szeregami). Systemy INS – odwrotnie, są dokładne i bardzo stabilne w krótkim przedziale czasu (do kilku sekund), w dłuższym przedziale ujawniają się ich duże błędy systematyczne (efekt dryftu żyroskopowego i systematyczne błędy akcelerometrów). Te charakterystyki powodują, że INS może być użyty do „wygładzenia” obserwacji GPS zakłóconych szumem i odwrotnie – system GPS może służyć do aktualizacji wskazań INS kompensując jego długookresowe błędy systematyczne. Eksperymentalne konstrukcje i testy wskazują na możliwość określenia elementów kątowej orientacji z dokładnością 0,01° dla pochylenia podłużnego i poprzecznego oraz 0,1° dla skręcenia kamery. Byłaby to dokładność zadowalająca dla pomiarowego wykorzystania zdjęć lotniczych. Jednak znaczenie zintegrowanych systemów nawigacyjnych można widzieć w innym kontekście, mianowicie dla ciągłej rejestracji elementów orientacji (położenie i kąty) lotniczych skanerów cyfrowych. Brak tych elementów jest obecnie przeszkodą w pomiarowym wykorzystaniu obrazów skanerowych.

Ocena jakości współczesnych zdjęć lotniczych

Pojemność informacyjna zdjęć lotniczych jest uwarunkowana ich zdolnością rozdzielczą. Zdolność rozdzielcza jest limitowana przez kilka czynników, a mianowicie: ■ zdolność rozdzielczą obiektywu R_o , ■ zdolność rozdzielczą filmu R_F , ■ rozmazanie obrazu spowodowane ruchem postępowym samolotu R_{FM} , ■ rozmazanie obrazu spowodowane ruchami kątowymi kamery R_{AM} , ■ kontrast obiektu, ■ wpływ atmosfery, ■ zdolność rozdzielczą filmu duplikacyjnego (w przypadku duplikowania) R_D . Znając wartości poszczególnych składowych procesu fotografowania wyrażone w parach linii/mm można określić wynikową zdolność rozdzielczą zdjęć R_{ZDJ} według uproszczonej zależności:

$$1/(R_{ZDJ})^2 = 1/(R_o)^2 + 1/(R_F)^2 + 1/(R_{FM})^2 + 1/(R_{AM})^2 + 1/(R_D)^2$$

Na końcowym efekcie tego procesu waży najbardziej jego „najsłabsze ogniwo”. Tym słabym ogniwem było do niedawna rozmazanie obrazu spowodowane ruchem postępowym samolotu i ruchami kątowymi kamery. Było to szczególnie widoczne przy fotografowaniu wielkoskalowym. Wprowadzenie kamer FMC istabilizowanych podwieszeń zminimalizowało ten problem oraz dodatkowo umożliwiło stosowanie bardziej drobnoziarnistych filmów. Poprawiła się jakość obiektywów. Wszystkie te okoliczności spowodowały skokowy wzrost zdolności rozdzielczej zdjęć lotniczych. Upraszczając zagadnienie, można oczekiwać, że współczesne zdjęcia lotnicze charakteryzują się rozdzielczością:

- ok. 55 par linii/mm dla obiektów kontrastowych (1 pl/mm = 18 μ m),
- ok. 40 par linii/mm dla obiektów o niskim kontraście (1 pl/mm = 25 μ m).

Są to wartości uśrednione dla całego formatu zdjęcia (AWAR). Skanowanie zdjęć jest coraz częstszym etapem technologicznym. Z jaką rozdzielczością skanować zdjęcia, aby nie zdegradować ich oryginalnej jakości? Zgodnie z teorią próbkowania, zdjęcia o rozdzielczości R_{ZDJ} należałoby skanować z rozdzielczością [7]:

$$1/(2\sqrt{2}) \times R_{ZDJ} \leq \text{piksel skanowania} \leq 1/2 \times R_{ZDJ}$$

Dla zdjęć o rozdzielczości np. 25 μ m (tj. 40 par linii/mm) oznacza to skanowanie z pikselem o wymiarach w zakresie 9-13 μ m. Tylko skanowanie z taką rozdzielczością pozwoli zachować pełny potencjał informacyjny zdjęcia.

Poprawa jakości geometrycznej zdjęć i ich zdolności rozdzielczej spowodowała wzrost dokładności opracowania. Na przykład dla zdjęć wielkoskalowych 1:2 500, przy pokryciu podłużnym 70%, pozyskanych kamerą RC30 z obiektywem 15 UAG-S i podwieszeniem PAV 30, na średnioczułym filmie Kodak Plus-X 2402, uzyskano szacunkowe błędy opracowania na punktach kontrolowanych [11]:

$\sigma_{E,N}$: $\pm 1,5$ cm (6 μ m w skali zdjęcia)

σ_H : ± 3 cm (0,08‰ wysokości lotu)

Są to błędy opracowania na poziomie dokładności punktów osnowy geodezyjnej. Dokładności te uzyskano dla długiego czasu ekspozycji (1/100 s), przy sztucznie wywołanych silnych turbulencjach lotu. Zbliżone dokładności (odniesione do skali zdjęcia) uzyskano dla zdjęć średnio- i drobno skalowych. Dla zdjęć 1:66 200, obiektywu 15/4 UAG-S i filmu superdrobnoziarnistego Panatomic-X 2412, na naturalnych punktach kontrolowanych uzyskano dokładności [5]:

σ_E : $\pm 0,61$ m (9 μ m w skali zdjęcia)

σ_N : $\pm 0,55$ m (8 μ m w skali zdjęcia)

σ_H : $\pm 0,54$ m (0,05‰ wysokości lotu)

W cytowanych opracowaniach zdjęcia wykonywano przy maksymalnym otworze obiektywu (f:4). Autorzy do opracowania zdjęć nowej generacji zalecają zwiększone powiększenie układu optycznego autografu do około 18-krotnego.

(Ciąg dalszy za miesiąc)

Literatura:

1. Claus M., *Demands on Electro-optical Cameras for Sensing and Mapping*. Photogrammetric Week 1995. Wichmann-Verlag.
2. Fritz L., *The Era of Commercial Earth Observation Satellites*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, January 1996, pp. 39-45.
3. Lavrov V. N., *Space Survey Photocameras for Cartographic Purposes*. XVIII Congress ISPRS, Vienna 1996, Com. I.
4. Leica Production Information. *Test flight with the new lens cone Leica 30/4 NAT-S*.
5. Leica Production Information. *Test with the new Leica 15/4 UAG-S. Results of High-Altitude Photographs with Leica RC30 and 15/4 UAG-S Lens Cone*.
6. Light Donald L., *The National Aerial Photogrammetric Program as a Geographic Information System Resource*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 59 (1993), No 1, pp. 61-65.
7. Light Donald L., *Film Cameras or Digital Sensor? The Challenge Ahead for Aerial Imaging*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62 (March 1996): 285-291.
8. Orbimage: Internet, <http://www.orbimage.com>
9. Schiewe J., Siebe E., *Revision of Cartographical Databases Using Digital Orthoimages*. ISPRS Com. III Symposium, Sept 5-9, 1994, Munich, Germany.
10. Schiewe J., *Cartographical Potential of MOMS-02/D2 Image Data*. Photogrammetric Week 1995. Wichmann-Verlag.
11. Schlienger R., *Increased Image Quality Resulting From New Technologies in Aerial Cameras*. XVIII Congress ISPRS, Vienna 1996, Com. I.
12. Space Imaging: Internet, <http://www.spaceimage.com>
13. SPIN-2: Internet, <http://www.spin-2.com>
14. Torlegard Kennert, *Sensors for Photogrammetric Mapping: Review and Prospects*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 47 (1992): 241-262.